

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS PARA LA FABRICACIÓN DE PLANCHAS DE POLIPROPILENO TECHOLUZ

BYRON F. MOSCOSO VERDEZOTO.

LUIS V. GUALLI AUCANCELA.

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RIOBAMBA – ECUADOR

esPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero, 05 de 2008

Fecha

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

BYRON FERNANDO MOSCOSO VERDEZOTO

Nombre del Estudiante

Titulada:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS
PARA LA FABRICACIÓN DE PLANCHAS DE POLIPROPILENO TECHOLUZ**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el grado de:

INGENIERO MECÁNICO

f) Decano de la Facultad de Mecánica

Yo coincido con esta recomendación:

f) Director de Tesis

Los Miembros del Comité de Examinación coincidimos con esta recomendación:

espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero, 05 de 2008

Fecha

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

LUIS VINICIO GUALLI AUCANCELA

Nombre del Estudiante

Titulada:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS
PARA LA FABRICACIÓN DE PLANCHAS DE POLIPROPILENO TECHOLUZ**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el grado de:

INGENIERO MECÁNICO

f) Decano de la Facultad de Mecánica

Yo coincido con esta recomendación:

f) Director de Tesis

Los Miembros del Comité de Examinación coincidimos con esta recomendación:

esPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BYRON FERNANDO MOSCOSO VERDEZOTO

TÍTULO DE LA TESIS: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS PARA LA FABRICACIÓN DE PLANCHAS DE POLIPROPILENO TECHOLUZ

FECHA DE EXAMINACIÓN: Febrero, 05 de 2008

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA*	FIRMA
Ing. GEOVANNY NOVILLO			
Ing. RAMIRO VALENZUELA			
Ing. JORGE LEMA			
Ing. GILBERTO ZABALA			

* Más que un voto de no aprobación es condición suficiente para falla total

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido

f) Presidente del Tribunal

epoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS VINICIO GUALLI AUCANCELA

TÍTULO DE LA TESIS: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS PARA LA FABRICACIÓN DE PLANCHAS DE POLIPROPILENO TECHOLUZ

FECHA DE EXAMINACIÓN:

Febrero, 05 de 2008

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA*	FIRMA
Ing. GEOVANNY NOVILLO			
Ing. RAMIRO VALENZUELA			
Ing. JORGE LEMA			
Ing. GILBERTO ZABALA			

* Más que un voto de no aprobación es condición suficiente para falla total

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Gualli Aucancela Luis Vinicio
Fernando

f) Moscoso Verdezoto Byron

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia padres y hermanos, por el esfuerzo y confianza que han depositado en mi, a mi compañero y amigo Byron, a los profesores y todos mis amigos que he conocido en el transcurso del tren de la vida, ya que sin ellos la vida profesional y personal no tendría sentido.

Luis Gualli Aucancela.

Agradezco a Dios por su infinito amor pues se ha hecho presente en mis padres quienes me han guiado y demostrado el valor de la vida, en mis hermanos ejemplos de honestidad, honradez y sacrificio, en mis sobrino con su gran ternura y en mi esposa que con su amor y dedicación hace que todo esfuerzo tenga sentido en la vida. Agradezco a mis amigos con quienes he compartido momentos de alegría a veces momentos difíciles pero todos superables y se ha podido culminar una etapa más en este corto camino. Gracias Dios

Byron Moscoso Verdezoto.

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico principalmente a Dios por haberme puesto en el camino personas de gran valía como son mis padres que siempre me han apoyado en cada peldaño de mi vida sin ellos no sería lo que soy ahora. A mis hermanos por ser mi compañía y ejemplo de superación y cambio, aun cuando la derrota parezca apoderarse de nuestras vidas, y a mi compañero de tesis por su comprensión y paciencia, estoy seguro que sin su apoyo este trabajo no se hubiera concluido.

Luis Gualli Aucancela.

La presente memoria dedico a mis padres que me han formado desde mis primeros pasos académicos y a mis hermanos en especial a Mariana y Amparito quienes contribuyeron a más de moralmente en forma económica en la culminación de mi estudio superior demostrando el valor de una familia.

Byron Moscoso Verdezoto.

RESUMEN

En los procesos de extrusión para la elaboración de planchas translucidas se requiere de un sistema de calentamiento, comúnmente esta energía calórica proviene de resistencias eléctricas cuyos costos de energía son relativamente elevados. La empresa TUBASEC C.A. productora de planchas translucidas de polipropileno busca optimizar sus recursos y en tal virtud se ha planteado el diseño de un sistema a gas el mismo que busca un ahorro energético.

El trabajo consta del DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS que va ubicado en la parte inicial del cañón o tubo de una extrusora que permite precalentar el material y posteriormente mediante resistencias eléctricas llegar a la temperatura de fusión. El sistema consta de una cámara de combustión que encierra los gases calientes y rodea al cañón para calentarlo, un recuperador que precalienta parte del aire requerido para mejorar la eficiencia en la combustión y una chimenea para evacuar gases quemados, adicionalmente consta de un sistema de control que a más de garantizar su funcionabilidad actúa como un sistema de seguridad.

Realizada pruebas con el GLP se observó que debido a la inercia térmica, cuando el material ingresa a temperatura ambiente se requiere mayor longitud en el cañón.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO

1.	GENERALIDADES	22
1.1	ANTECEDENTES.	22
1.2	JUSTIFICACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA	23
1.3	OBJETIVOS	24
1.3.1	GENERAL	24
1.3.2	ESPECÍFICOS	24
2.	MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO	25
2.1	INTRODUCCIÓN.	25
2.2	HORNOS INDUSTRIALES	25
2.2.1	CLASIFICACIÓN	26
2.2.1.1	CLASIFICACIÓN SEGÚN SU APLICACIÓN	26
2.2.1.2	CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FUENTE DE ENERGÍA	26
2.2.1.3	CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PROCESO	27
2.2.2	HORNOS CONTINUOS	27
2.2.3	HORNO CONTINUO CON TRANSPORTADOR DE TORNILLO	28
2.2.3.1	HORNOS CONTINUOS PARA TEMPERATURAS INFERIORES A 760 °C.	29
2.2.4	DISTRIBUCIÓN DEL CALOR EN UN HORNO	29
2.2.5	RENDIMIENTO DE HORNOS EN GENERAL	30
2.2.6	ECONOMÍA DEL COMBUSTIBLE PARA HORNOS	32
2.2.6.1	UTILIZACIÓN DEL CALOR DE LOS GASES QUEMADOS	32
2.2.6.2	AHORRO DE COMBUSTIBLE POR EL PRECALENTAMIENTO DEL AIRE DE COMBUSTIÓN	33
2.2.6.3	RECUPERADORES	35
2.3	MATERIALES AISLANTES	36
2.4	POLÍMEROS.	38
2.4.1	GENERALIDADES	38
2.4.2	CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN	39
2.4.3	ADITIVOS	40

2.4.3.1	ADITIVOS MODIFICADORES	40
2.4.3.2	ADITIVOS PROTECTORES	42
2.4.4	MEZCLAS DE POLÍMEROS Y ADITIVOS	43
2.4.4.1	MEZCLA EXTENSIVA, DISTRIBUTIVA O DE HOMOGENEIZACIÓN	43
2.4.4.2	MEZCLA INTENSIVA, DISPERSIVA O FORMACIÓN DE COMPUESTOS	44
2.4.5	EL POLIPROPILENO.	45
2.4.5.1	ESTRUCTURA DEL POLIPROPILENO	46
2.4.5.2	PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO.	47
2.5	MÉTODOS PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS	48
2.5.1	MOLDEO POR INYECCIÓN	48
2.5.2	MOLDEO POR SOPLADO	49
2.5.3	MOLDEO POR VACIO	49
2.5.4	CALANDRADO	50
2.5.5	MOLDEO POR EXTRUSIÓN	50
2.5.5.1	CARACTERÍSTICAS DE UN EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE	51
2.5.5.2	ZONAS EN UN EXTRUSOR DE TORNILLO SIMPLE.	52
2.5.5.3	EFICIENCIA DE FUSIÓN	54
2.6	COMBUSTIBLES	54
2.6.1	CLASIFICACIÓN.	55
2.6.2	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)	55
3.	ESTUDIO Y PROYECCIÓN DEL SISTEMA.	57
3.1	PARÁMETROS GENERALES DEL SISTEMA.	57
3.2.	CONDICIONES FÍSICAS	58
3.3	CAPACIDAD DE CARGA	58
3.4	SISTEMA DE CONTROL	58
3.5	PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA TERMICO	60
3.5.1	CÁMARA DE COMBUSTIÓN	60
3.5.1.1	QUEMADORES DE GLP	60
3.5.1.2	DEFLECTORES	61

3.5.2	RECUPERADOR	61
3.5.3	CHIMENEA	61
4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS	62
4.1	DISEÑO TERMICO DEL SISTEMA	62
4.1.1	CALCULO DE LA POTENCIA DEL SISTEMA	62
4.1.1.1	CÁLCULO DEL CALOR ÚTIL PARA OBTENER LA FLUIDEZ DEL POLIPROPILENO.	62
4.1.1.2	CÁLCULO DEL CALOR TOTAL REQUERIDO POR EL SISTEMA	63
4.1.2	ANÁLISIS ESTEQUIOMÉTICO:	63
4.1.2.1	COMBUSTIÓN CON AIRE TEÓRICO.	64
4.1.2.2	COMBUSTIÓN CON EXCESO DE AIRE.	64
4.1.2.3	ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN	64
4.1.2.4	RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE.	65
4.1.2.5	GASTO DE COMBUSTIBLE.	65
4.1.2.6	GASTO DE AIRE.	66
4.1.2.7	DENSIDAD DE LOS GASES QUEMADOS	66
4.2	DISEÑO DEL RECUPERADOR DE FLUJO TRANSVERSAL.	66
4.2.1	DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DE LOS GASES QUEMADOS .	67
4.2.2	DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	68
4.2.2.1	CÁLCULO DE COEFICIENTE POR CONVECCIÓN DEBIDO A LOS GASES QUEMADOS:	68
4.2.2.2	CÁLCULO DEL COEFICIENTE POR CONVECCIÓN DEBIDO AL AIRE TRANSVERSAL	69
4.2.2.3	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	71
4.2.2.4	DIMENSIONAMIENTO DEL RECUPERADOR	72
4.2.2.5	SELECCIÓN DEL BLOWER PARA CONVECCIÓN FORZADA EN EL RECUPERADOR	73
4.3	DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.	74
4.4	DETERMINACIÓN DEL ESPESOR TECNICO DEL AISLANTE.	75
4.5	DIMENSIONAMIENTO DE LA CHIMENEA.	79
4.5.1	VELOCIDAD DE SALIDA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.	79
4.5.2	DIÁMETRO DE LA CHIMENEA	80
4.6	DISEÑO DE LA ACOMETIDA DE GAS.	81

4.6.1	ACOMETIDA DESDE LA ALIMENTACIÓN HASTA EL PUNTO DE DISTRIBUCIÓN.	81
4.6.2	ACOMETIDA DESDE EL PUNTO DE DISTRIBUCIÓN HASTA LOS QUEMADORES.	82
4.7	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	84
5.	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.	88
5.1	CONSTRUCCIÓN MECÁNICA	88
5.1.1	TRAZADO Y CORTE	88
5.1.2	BAROLADO.	89
5.1.3	TALADRADO	90
5.1.4	DOBLADO	90
5.1.5	PROCESO DE SOLDADURA	91
5.1.5.1	SOLDADURA POR ARCO METÁLICO PROTEGIDO (SMAW).	92
5.1.5.2	SOLDADURA OXI-GAS	93
5.1.6	ENSAMBLE	94
5.1.6.1	SECCIÓN 1	94
5.1.6.2	SECCIÓN 2	94
5.1.6.3	SECCIÓN 3	95
5.2	INSTALACIÓN DE LA ACOMETIDA DE GAS.	96
5.3	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	97
5.4	MONTAJE DEL SISTEMA	99
5.5	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	101
5.5.1	MANUAL DE OPERACIÓN	101
5.5.2	MANUAL DE MANTENIMIENTO	101
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO	103
6.1	DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	103
6.1.1	MATERIA PRIMA DIRECTA (MPD)	103
6.1.1.1	COSTOS DE MATERIALES PARA EL HORNO INDUSTRIAL	104
6.1.1.2	COSTOS DE MATERIALES PARA ACOMETIDA DE GAS	105
6.1.1.3	COSTOS DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE CONTROL	105
6.1.2	MANO DE OBRA DIRECTA (MOD)	106

6.1.3	COSTOS INDIRECTOS (CI)	107
6.2	ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	108
6.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.	109
6.3.1	ANÁLISIS COSTOS DE ENERGÍA	109
6.3.1.1	SISTEMA CON RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.	109
6.3.1.2	SISTEMA CON GLP.	111
6.3.2	RELACIÓN DE COSTOS ENTRE EL SISTEMA ELÉCTRICO Y EL SISTEMA DE GAS.	113
7.	PRUEBAS	115
7.1	PRUEBAS EN VACÍO.	116
7.1.1	PRUEBAS EN VACÍO SIN RECUPERADOR.	116
7.1.1	PRUEBAS EN VACÍO CON RECUPERADOR.	118
7.2	PRUEBAS A CARGA.	121
7.2.1	PRUEBAS A CARGA SIN RECUPERADOR	121
7.2.2	PRUEBAS A CARGA CON RECUPERADOR	123
7.3	ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y PROPUESTA	125
7.3.1	ANÁLISIS DE PROPUESTA	126
7.3.2	FACTIBILIDAD DEL SISTEMA PLANTEADO.	130
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
8.1	CONCLUSIONES.	133
8.2	RECOMENDACIONES	135

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFIA

[ANEXOS](#)

[PLANOS](#)

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 TIPOS DE POLÍMEROS Y SU ESTRUCTUR.....	18
4.1 DENSIDAD DE PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN.....	45
4.2 DATOS DE LONGITUD Y NÚMERO DE TUBOS PARA RECUPERADOR.....	52
6.1 DATOS DE MATERIALES Y COSTOS PARA EL HORNO INDUSTRIAL.....	83
6.2 EQUIPO PARA EL HORNO INDUSTRIAL.....	83
6.3 LISTADO DE MATERIALES PARA LA ACOMETIDA DE GAS.....	84
6.4 LISTADO DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE CONTROL.....	85
6.5 MATERIA PRIMA DIRECTA.....	85
6.6 MANO DE OBRA DIRCTA.....	86
6.7 COSTOS INDIRECTOS.....	86
6.8 INVERSIÓN TOTAL DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS.....	87
6.98 DATOS DE CONSUMO DE ENERGÍA.....	89
6.10 DATOS DE CARGOS TARIFARIOS.....	90
6.11 DATOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	91
6.12 COSTOS DE COMBUSTIBLE.....	92
7.1 DATOS DE PLACA DE REGULADORES DE BAJA PRESIÓN.....	94
7.2 DATOS DE PLACA DE REGULADORES DE ALTA PRESIÓN.....	94
7.3 DATOS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO SIN RECUPERADOR.....	96
7.4 DATOS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO CON RECUPERADOR.....	98

TABLA**PÁGINA**

7.5	DATOS DE PERÍODOS DE MUESTREO DE LOS DOS QUEMADORES.....	101
7.6	DATOS DE VELOCIDAD DEL AIRE GENERADA POR EL BLOWER.....	102
7.7	DATOS DE PERÍODOS DE MUESTREO DE LOS DOS QUEMADORES CON RECUPERADOR.....	103

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 Sistema de Calentamiento para Conformado de Polímeros.....	7
2.2 Horno Continuo con Transportador de Tornillo.....	7
2.3 Distribución de Calor en el Interior del Horno.....	9
2.4 Rendimientos Ideales y Reales de Hornos Industriales.....	10
2.5 Pérdidas de Humos en Función de la Temperatura de los Gases Quemados y de la Forma del Combustible.....	12
2.6 Horno de Recuperación.....	13
2.7 Recuperador de Contracorriente.....	14
2.8 Recuperador de Flujo Paralelo.....	14
2.9 Recuperador de Flujo Transversal.....	15
2.10 Fibra Cerámica.....	16
2.11 Representación Esquemática de las Mezclas Distributivas y Dispersas.....	22
2.12 Moldeo por Inyección.....	28
2.13 Moldeo por Soplado.....	28
2.14 Moldeo por Extrusión.....	29
2.15 Extrusor de Tornillo.....	30
2.16 Zonas del Tornillo.....	31
4.1 Recuperador con Flujo Transversal.....	46
4.2 Acometida de Distribución de Gas hasta el Punto de Distribución.....	61

4.3	Acometida de Distribución de Gas hasta los Quemadores.....	62
4.4	Tablero de control.....	63
4.5	Diagrama del LGA.....	64
4.6	Diagrama del Sistema Eléctrico.....	65
5.1	Planchas de Acero.....	68
5.2	Planchas Baroladas.....	68
5.3	Perforación de Agujeros.....	69
5.4	Tapas y Paredes del Horno.....	70
5.5	Ensamble de Piezas.....	70
5.6	Soldadura de Planchas de Acero Inoxidable.....	71
5.7	Soldaduras de Planchas de Tol Negro.....	72
5.8	Soldadura de los Tubos de Cobre 1.....	72
5.9	Ensamble de la Sección 1.....	73
5.10	Ensamble de la Sección 2.....	74
5.11	Ensamble de la Sección 3.....	74
5.12	Acometida de Gas.....	75
5.13	Bomba Hidráulica.....	76
5.14	Caseta para Almacenamiento de Cilindros de Gas.....	76
5.15	Colocación de instrumentos en el Panel de Control.....	77
5.16	Cableado y Conexión de los Instrumentos de Control.....	77
5.17	Chimenea.....	78
5.18	Instalación del Sistema a Gas.....	79

FIGURA
PÁGINA

5.19	Sistema Completo de Calentamiento a Gas.....	79
7.1	Incremento de Temperatura con Respecto al Tiempo.....	97

7.2	Incremento de Temperatura con Respecto al Tiempo (2).....	99
7.3	Períodos de Muestreo de Quemadores sin Recuperador.....	102
7.4	Períodos de Muestreo de los dos Quemadores con Recuperador....	104
7.5	Curva de Decrecimiento de Temperatura con Respecto al Tiempo...	106
7.6	Diagrama de Cambio de Ubicación de la Propuesta, con Respecto a la Primera Alternativa.....	107

LISTA DE ANEXOS.

ANEXO A: Calor Específico del Polipropileno (C_p).

ANEXO B: Composición del GLP.

ANEXO C: Coeficiente de Exceso de Aire para el GLP.

ANEXO D: Poder Calórico del GLP.

ANEXO E: Propiedades Físicas de los Gases de Combustión.

ANEXO F: Propiedades Físicas del Aire Atmosférico.

ANEXO G: Constantes para Coeficientes de Transferencia de Calor.

ANEXO H: Factor de Corrección.

ANEXO I: Conductividad Térmica de la Lana Cerámica.

ANEXO J: Ecuaciones Simplificadas para la Convección Natural.

ANEXO K: Características del Sistema.

ANEXO L: Características de Sellado.

ANEXO M: Instalación del Sistema.

ANEXO N: Instalación del Sistema.

ANEXO O: Diagrama de Control del LGA.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES.

La Empresa TUBASEC. C.A. dispone de una planta industrial y entre la diversidad de productos que ofrecen al país, se encuentran las Planchas Translúcidas de Polipropileno "TECHOLUZ", para la elaboración de dicho producto la fábrica posee máquinas extrusoras de polipropileno y cuyo Sistema de Calentamiento es mediante Resistencias Eléctricas, las cuales calientan a un tubo hasta una temperatura de 270 °C., en cuyo interior se encuentra el polipropileno que es llevado hacia una extrusora por medio de un tornillo sinfín.

Dichos equipos se encuentran trabajando en forma continua, normalmente la producción de planchas translúcidas se realizan durante tres semanas consecutivas y una semana es dedicada al mantenimiento de equipos, por lo que el consumo de Energía Eléctrica causada por las resistencias es representativa.

1.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA

La situación energética actual del país presenta un déficit de producción y mayor demanda social incrementando considerablemente los costos de producción con relación a los demás países andinos, el sector industrial es el que mayor consumo de energía eléctrica presenta.

Existen procesos industriales que requieren en un cien por ciento de energía eléctrica, siendo un caso particular el sistema de calentamiento por resistencias eléctricas para termoplásticos lo cual resulta muy costoso para la industria más aún si hablamos de una producción continua durante las veinticuatro horas, esto obliga a buscar soluciones apropiadas que puedan abaratar costos de producción.

Una de las alternativas para la optimización de costos de producción es la implementación de sistemas de calentamiento en base a combustibles gasificados, en virtud de sus ventajas comparativas a otros combustibles ya sea en forma económica o en el impacto ambiental que producen todos los gases de combustión.

Así pues, la profundización del conocimiento de la ingeniería del gas constituye en consecuencia una herramienta imprescindible para la dinamización de procesos como es el de adquirir planchas de polipropileno, pudiendo concluir que el uso del gas en este tipo de industria donde la energía tiene una incidencia sobre los costos de los productos elaborados, será de gran ayuda.

Para satisfacer esta necesidad que presenta la Empresa TUBASEC. C.A. ha optado por un sistema que reemplace al calentamiento mediante resistencias eléctricas por otro a bajo costo que funcione por medio de gas y permita mantener la producción.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Diseñar y construir un sistema de calentamiento a gas para la fabricación de planchas de polipropileno.

1.3.2 Específicos

- Identificar las diversas características y aplicaciones del polipropileno.
- Evaluar comparativamente el sistema de calentamiento por resistencias eléctricas con el sistema a gas y determinar las ventajas y/o desventajas.
- Aplicar los conocimientos científicos y académicos en la empresa buscando soluciones y mejoras dentro de los procesos de producción.
- Implementar un control automático idóneo que garantice la funcionabilidad y seguridad industrial del equipo.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO

2.1 INTRODUCCIÓN.

En varios procesos industriales la utilización de energía calorífica es indispensable, ya sea para tratar a un material, producir una atmósfera controlada o incluso la de generar vapor para la conversión de energía u otras aplicaciones. Estos sistemas de calentamiento pueden ser obtenidos a base de energía eléctrica o mediante la combustión de un hidrocarburo.

Cada sistema de calentamiento presenta características propias con ventajas técnico-económicas de funcionamiento muy distintas, en el caso de utilizar combustibles se considera que el sistema es mucho más barato que un eléctrico, pero el control de temperatura es menos preciso, y de la misma manera se llega a obtener productos terminados de igual o mejor calidad. Por esta razón, el enfoque económico, nos determina utilizar un sistema de calentamiento mediante combustibles, que en este caso es el GLP.

2.2 HORNOS INDUSTRIALES

Los Hornos Industriales son utilizados principalmente para transformar materia prima en productos en los cuales su estado físico se altera al impartir calor sobre la misma. En el proceso se puede mantener su composición química.

Las elevadas temperaturas tienden a ablandar los materiales modificando su microestructura y permitiendo gran maleabilidad para las operaciones de deformación como estampación, extrusión o laminación. Hay muchas industrias que utilizan hornos de diferentes tipos, entre estas industrias destacan, la petroquímica, la metalúrgica, la industria cerámica y la del vidrio. La generación de calor en el interior del horno se lo puede obtener mediante la combustión de combustible o la conversión de energía eléctrica en calor, todo depende del proceso y las características que se desea alcanzar en la materia prima. La

principal ventaja del horno de combustión es el costo de energía mientras que al emplear resistencias eléctricas el control del proceso es mucho más exacto, siendo muchas veces una ventaja predominante frente al costo de combustible.

2.2.1 Clasificación

La amplia gama de hornos se pueden clasificar según su aplicación, su fuente de energía o el proceso. [1]

2.2.1.1 Clasificación según su aplicación

- Hornos domésticos.- Son hornos de baja temperatura utilizados principalmente para cocer, asar o gratinar alimentos, su uso es específicamente en hogares.
- Hornos Industriales.- Son hornos de media y alta temperatura utilizados para transformar la materia prima mediante el calentamiento o la fundición de la misma.

2.2.1.2 Clasificación según su fuente de energía

- Combustión de combustible.- Los hornos de combustión utilizan combustible sólido, líquido o gaseoso dependiendo del tipo de quemador aplicado, la flama producto de la combustión puede estar dispuesta en la parte inferior, lateral, superior o una combinación de las anteriores si el calentamiento de la materia lo requiere y la transmisión de calor es debido a convección y radiación.
- Conversión de la energía eléctrica en calor.- Se fundamentan en la utilización de resistencias eléctricas que al pasar un alto amperaje tienden a alcanzar altas temperaturas, la transmisión de calor se produce netamente por conducción.

2.2.1.3 Clasificación según el proceso

- Hornos de carga por lotes.- El material permanece estático durante todo el proceso de calentamiento hasta retirar la carga y sustituirla por otra.
- Hornos continuos.- En estos hornos el material no permanece estático sino se desplaza a lo largo del horno mientras se calienta, utilizando mecanismos de transporte tales como rodillos, patines, transportadores de tornillo o incluso por gravedad.

2.2.2 Hornos continuos

Estos hornos se caracterizan debido al empuje continuo o intermitente de las piezas a través de los mismos, el material pasa sobre una solera fija o a veces esta solera es móvil, los mecanismos de transporte son variados. Los hornos continuos pueden calentarse de tal forma que la temperatura de los gases de combustión en el interior permanece casi constante a lo largo de todo el proceso. La capacidad de calentamiento está determinada principalmente por la emisividad de la carga, espesor de capa a calentar y el área de la solera, esta capacidad de calentamiento es fácilmente superior a la de los hornos discontinuos debido a que los gases calientes de la combustión rodean el material en todo el proceso de arrastre incluso en la parte inferior.

Los hornos continuos se pueden clasificar según el sistema de transporte acoplado, siendo los siguientes [1]:

- Horno con transportador de tornillo
- Horno con solera giratoria
- Horno de solera móvil
- Horno con descarga extremo-lateral (rodillos o bandas)

El sistema de calentamiento citado en la presente tesis trata específicamente de un *Horno continuo con Transportador de Tornillo*, el mismo que actúa sobre la zona de alimentación y compresión en el cañón de la extrusora, en el proceso el cilindro permanece estático y el husillo interno gira por acción de las revoluciones transmitidas por un motor eléctrico.

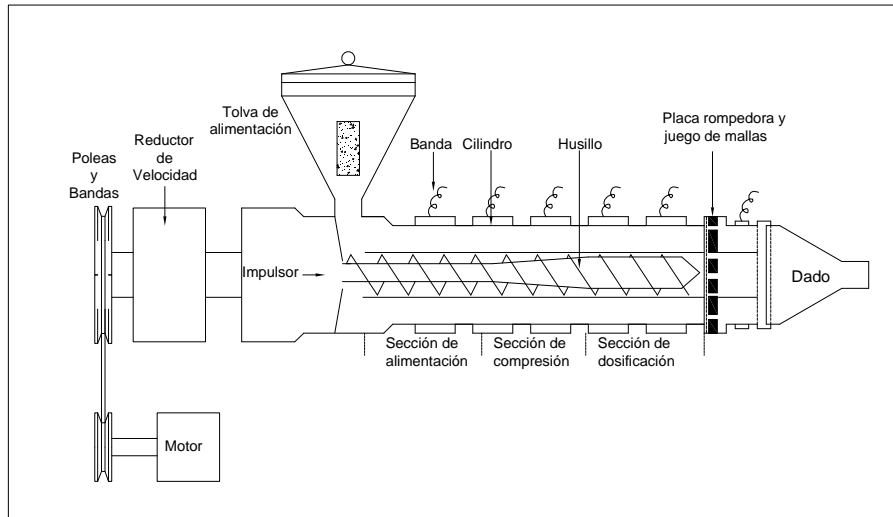


Figura 2.1: Sistema de Calentamiento para Conformado de Polímeros

2.2.3 Horno continuo con transportador de tornillo

El material a calentar es colocado en una tolva con una regulación en su salida, siendo arrastrado por el tornillo desde la zona de alimentación hasta la zona de presión (salida a la extrusora), durante este recorrido el material es calentado por convección debido a los gases calientes de combustión, siendo necesaria la aplicación de deflectores que permitan una correcta distribución de flujo de gases calientes alrededor del tubo y la homogenización de temperatura en el mismo. La zona de dosificación es calentada mediante resistencias con el fin de garantizar una temperatura homogénea en todo el material arrastrado.

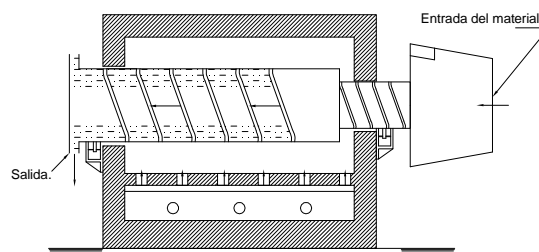


Figura 2.2: Horno Continuo con Transportador de Tornillo

2.2.3.1 Hornos continuos para temperaturas inferiores a 760 °C.

A temperaturas inferiores a 760 °C., la intensidad de radiación en el interior del horno se le considera extremadamente baja, lo cual produce dificultades en el mantenimiento de temperaturas bien distribuidas en todo el interior. Por este motivo se debe someter al material a un calentamiento por convección forzada con el fin de obtener una mejor distribución de líneas de flujo de gases calientes en todo el material y evitar la concentración prolongada de estos gases en determinadas zonas.

De igual forma con estas temperaturas inferiores se debe considerar que en la capacidad de calentamiento o una parte del calor total de trabajo, irá destinado al calentamiento del mecanismo de transporte, siendo el calor total la suma entre el calor total de perdidas, calor requerido para el calentamiento del mecanismo de transporte y el calor útil impartido hacia la carga.

Las pérdidas de calor en todo proceso causa efectos negativos ya que baja el rendimiento del sistema resultando necesaria la implementación de aislantes con espesores adecuados además se debe disminuir la entrada de aire frío por los extremos o aperturas presentes en el horno y así mejorar la eficiencia del horno de combustión.

Los hornos continuos para temperaturas inferiores a 650 °C van siempre equipados con ventiladores de recirculación y en ciertos casos se recomiendan el diseño de deflectores que orienten los flujos de gases calientes para evitar que ciertas zonas sean fuertemente recalentadas e incluso quemadas.

2.2.4 Distribución del calor en un horno

La mayor parte del calor se libera en la zona de combustión la cual transmite el calor por radiación en forma directa al material; la zona de combustión puede estar ubicada en la parte inferior, superior o lateral, dependiendo del diseño del horno y el movimiento de flujo caliente requerido para cada proceso. A medida que pasan los gases calientes el calor se distribuye por radiación y convección,

el mismo que se desplaza en todas direcciones, una parte es absorbida por la carga, algo pasa a través de las paredes del horno, mientras que otra porción se pierde en el ambiente debido a la salida de los gases calientes por la chimenea. Estas pérdidas también pueden ocurrir al abrir la puerta del horno o en caso de existan aberturas externas en el mismo.

Para entender de una mejor manera la distribución del calor en un horno, sabemos que por diferencia de densidades con respecto al aire frío, el aire caliente tiende a subir, como se observa en el sentido de flujo de gases calientes en el interior de la chimenea; al adoptar estos gases líneas de flujo determinadas estas pueden ser direccionadas mediante deflectores, con el fin de prolongar el tiempo o guiar mayor cantidad de estos gases hacia zonas críticas (zonas de menor temperatura) buscando de esta forma homogeneidad en todo el material a calentar.

Finalmente, en el caso de calentar la carga en recipientes o en cadenas móviles, gran parte de calor es disipada al aire libre por estos dispositivos una vez que han extraído calor del horno.

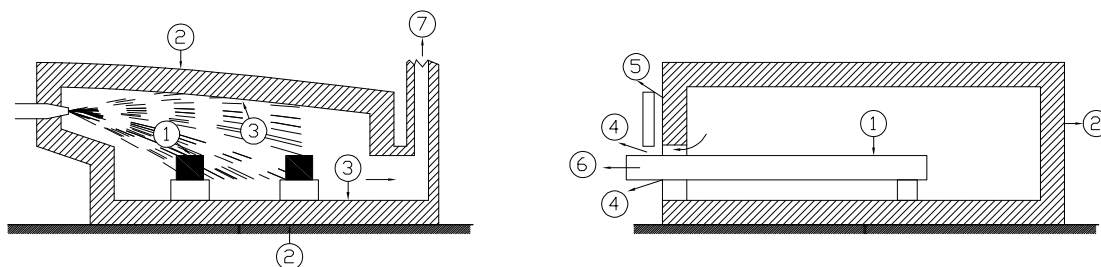


Figura 2.3: Distribución de Calor en el Interior del Horno

2.2.5 Rendimiento de hornos en general

Los términos «economía» y «rendimiento» cuando se utilizan en su verdadero sentido, al aplicarse a los hornos industriales, se refieren al costo de calentamiento por unidad de peso de producto terminado o listo para la venta.

Se entiende por «rendimiento» del combustible, que es la relación entre el calor aportado a la carga y el calor potencial del combustible, medida en pruebas de larga duración.

Al estudiar el rendimiento en los hornos industriales los conocedores resultan sorprendidos por su bajo rendimiento térmico, según experiencias los rendimientos son algunas veces tan bajos que llega a un 5 % en los hornos de combustión y en condiciones favorables el rendimiento de estos hornos podrían alcanzar de un 60 a 70%, este último se lo podría considerar como un caso excepcional. Como es lógico el rendimiento alcanzado depende mucho del diseño del horno en el cual se debe considerar la parte térmica y la de control automático, consideración que puede llevarle al proyecto a elevados costos de inversión.

Los gases pueden dar calor a la carga tan sólo cuando están más calientes que ella, en consecuencia los gases de combustión deben abandonar los hornos industriales a temperaturas elevadas. Basándose en que los productos de combustión, abandonan un horno industrial a una temperatura que sobrepasa los 28 °C la de la carga, se han dibujado dos curvas casi rectas en la figura inferior [2], éstas indican el rendimiento térmico máximo posible de los hornos industriales en función de la temperatura de los mismos.

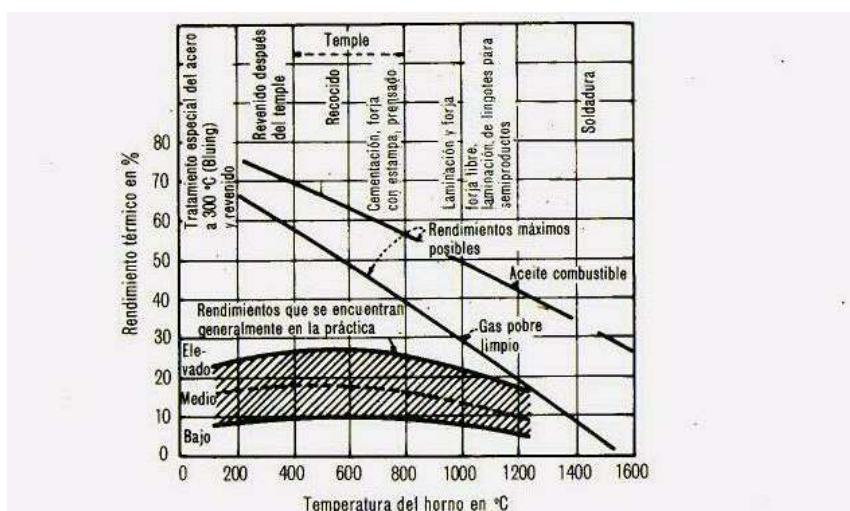


Figura 2.4: Rendimientos Ideales y Reales de Hornos Industriales

Las curvas de rendimiento máximo posible que se aprecian en la figura se han determinado para hornos simples, sin precalentamiento de la carga, combustible o aire. En general, el rendimiento térmico de los hornos industriales queda muy por debajo de los valores indicados por las curvas ideales.

2.2.6 Economía del combustible para hornos

El óptimo funcionamiento exige que el porcentaje de calor total que pasa a la carga sea tan grande como el generado por el combustible, apuntando siempre a la economía de combustible. Por tal razón se requiere la solución de dos problemas claramente identificados:

El primero es la determinación de las pérdidas de calor y de los métodos apropiados para reducirlas.

El segundo es la determinación de la cantidad de combustible o de energía eléctrica que se necesita para calentar cierta cantidad de material.

Existen varios métodos destinados a economizar el combustible, los más comunes son los siguientes métodos: [3]

- Reducción de las pérdidas por las paredes, incluyendo las pérdidas por almacenamiento
- Aplicación del calor, a elevada temperatura, a una carga que está a baja temperatura sin pérdidas
- Precalentamiento de la carga por la recuperación del calor de los humos
- Precalentamiento del aire, combustible o ambos por la recuperación del calor de los humos
- Calderas de recuperación.

2.2.6.1 Utilización del calor de los gases quemados

La pérdida producida por el calor sensible de los gases quemados no es despreciable, están en un rango entre el 20 y 70% aproximadamente. En la

figura inferior se muestra curvas de perdidas basadas en que el combustible y el aire entran en el quemador a la temperatura ambiente y también con un pequeño porcentaje de exceso de aire. [3]

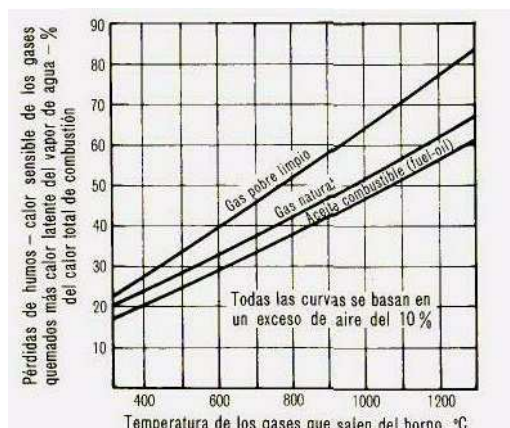


Figura 2.5: Pérdidas de Humos en Función de la Temperatura de los Gases Quemados y de la Forma del Combustible.

Se observa unas curvas proporcionales, es decir que a elevadas temperaturas las pérdidas también aumentan pudiendo llegar a ser excesivas. La necesidad de reducir las pérdidas de gases de combustión conduce a los tres métodos siguientes:

Precalentamiento de la carga fría por los gases quemados

Precalentamiento del aire de combustión

Generación de vapor en calderas de recuperación.

2.2.6.2 Ahorro de combustible por el precalentamiento del aire de Combustión

El proceso de precalentamiento del aire de combustión se puede realizar aprovechando básicamente los gases calientes que son expulsados de la cámara de combustión, estos gases que salen a través de canales de humos o en la chimenea misma, transmiten una parte de su calor al aire que entra uniformemente por una cámara que atraviesa la chimenea, provocando transferencia de calor por convección forzada. Este intercambiador de calor es

llamado “recuperador” y requiere de un ventilador que obliga al flujo de aire circular en dirección, contracorriente o en sentido transversal a la del flujo de los gases de combustión. Como se ilustra en la figura:

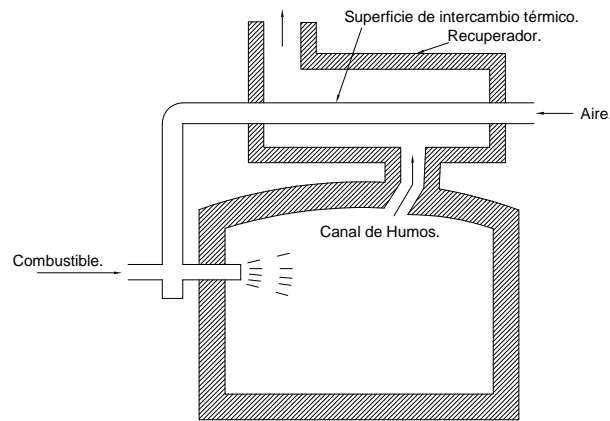


Figura 2.6: Horno de Recuperación

Para el precalentamiento de aire es necesario definir la temperatura mínima a la que se debe llegar para el ahorro de combustible y a partir de esto establecer el tipo y la superficie de transferencia de calor necesaria en el recuperador.

Se ha manifestado los métodos para precalentar del aire de combustión y que esto implica ahorro de combustible y beneficios. Y ¿Por qué este Ahorro?, a continuación sus razones:

- Al ingresar aire precalentado la combustión es más rápida y la temperatura es superior, lo que implica menor consumo de combustible. Todo lo contrario si se utiliza aire ambiente.
- Se necesita un cierto exceso de aire para completar el proceso de combustión en el horno cuando el aire está frío. Si el aire está caliente se necesita muy poco exceso de aire, lo que significa menos pérdidas provocadas por el arrastre de calor de dicho exceso.
- El aire precalentado acorta la llama y produce lo que se conoce por llama invisible si la temperatura del aire es suficientemente elevada. La combustión rápida concentra el calor cerca de los quemadores y no produce esas llamas largas que se extienden a lo largo de toda la solera.

2.2.6.3 Recuperadores

Los recuperadores son dispositivos de precalentamiento del aire de combustión, pueden dividirse en tres clases, según sea el flujo de los gases quemados y del aire, aunque frecuentemente se encuentran combinaciones de éstas, son: [3]

2.2.6.3.1 Recuperador de contracorriente

Son intercambiadores de calor caracterizados porque la distribución de temperaturas es producida cuando el flujo de los gases quemados va en sentido opuesto al del aire de combustión, con este sistema se puede obtener mayor temperatura que en el de flujo paralelo.

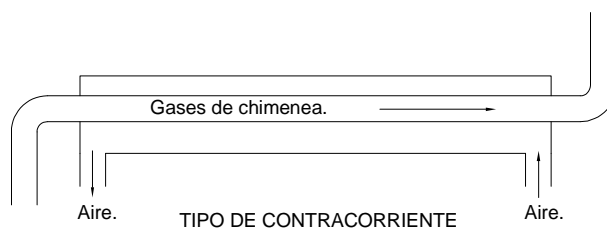


Figura 2.7: Recuperador de Contracorriente

2.2.6.3.2 Recuperador de flujo paralelo

Al igual que en los anteriores, presentan una forma simple, pero el flujo de los gases quemados va en el mismo sentido que el aire de combustión.

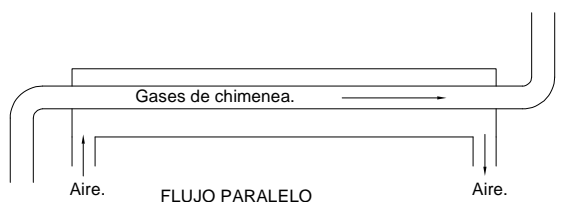


Figura 2.8: Recuperador de Flujo Paralelo

2.2.6.3.3 Recuperador de flujo transversal

Son intercambiadores de calor que presentan un diagrama más complejo, el aire atraviesa canales de humos perpendiculares al flujo de aire, con este sistema se obtiene mayor temperatura porque presenta una mayor área de transferencia de calor.

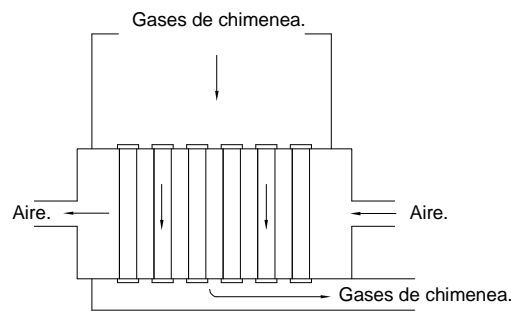


Figura 2.9: Recuperador de Flujo Transversal

Solamente aparecen temperaturas medias (referidas a la disposición de arriba abajo), porque las temperaturas en los tubos y alrededor de éstos varían desde la parte superior a la inferior.

2.3 MATERIALES AISLANTES

En los hornos o cualquier otro sistema que requiera evitar pérdidas de calor las mismas que se traducen a pérdidas económicas, es indispensable el uso de aislantes térmicos adecuados para cada proceso, tomando en cuenta siempre el aspecto técnico- económico con el fin de seleccionar un aislante de resistencia térmica adecuada y económicamente accesible.

Los aislantes térmicos son materiales con un coeficiente de conductividad muy bajo y gran resistencia térmica, también presentan otras características tales como:

- a. Resistencia a la corrosión.
- b. Resistencia mecánica.
- c. No es inflamable.
- d. Fácilmente manipulables.

FIBRAS CERÁMICAS



Figura 2.10: Fibra Cerámica

Cuando la temperatura de trabajo es extremadamente elevada, por ejemplo, 1100°C , muchos materiales ceden, y entonces es necesario recurrir a fibras cerámicas y similares.

Las fibras cerámicas se utilizan para juntas para estufas, para revestir hornos para cerámica, etc. Existe una amplia variedad de productos en esta categoría de fibras cerámicas, y cada uno de ellos corresponde a un determinado rango de aplicaciones.

Los principales materiales de este tipo son mantas cerámicas y papeles cerámicos, aunque también existen muchos otros materiales para temperaturas extremas, como los cementos refractantes, los copos cerámicos, etc.

Ventajas de la lana cerámica [4]

Las mantas cerámicas son resistentes, livianas y flexibles, y presenta una excelente resistencia al manipuleo y a la erosión; no contiene ligante alguno debido al proceso por el que es elaborada, en el cual se utilizan fibras cerámicas de primera calidad.

No son afectadas por la mayor parte de los ácidos o agentes corrosivos, exceptuando a los ácidos hidrofúorhídricos, fosfóricos, y álcalis concentrados.

Se comporta bien tanto en atmósferas reductoras como oxidantes. Si resultara mojada por aceites, agua o vapor, sus propiedades térmicas y físicas se restablecen en su totalidad al secarse.

La temperatura límite de uso continuo de las mantas cerámicas es de 1260° C (aunque a pedido pueden fabricarse mantas cerámicas que resistan hasta 1400° C).

El punto de fusión es a los 1760° C, el color es blanco, y las densidades disponibles son de 64, 96, 128, 160 y 192 kg. /m³.

Los rollos de manta cerámica tienen un ancho de 610 mm. y largo variable (dependiendo de la densidad del rollo), y los espesores disponibles son de ½", 1" y 2".

2.4 POLÍMEROS.

2.4.1 Generalidades

Los polímeros se producen por la unión de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas tienen ramificaciones y otras son como redes tridimensionales.

Existen polímeros naturales de gran significación comercial como el algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel. La seda es otro polímero natural muy apreciado y es una poliamida semejante al nylon. La lana, proteína del pelo de las ovejas, es otro ejemplo. El hule del árbol de hevea es también un polímero natural importante.

Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria y que son la materia prima para la fabricación, en nuestro caso de planchas translucidas son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros

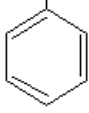
tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases.

2.4.2 Concepto y Clasificación

La palabra Polímero viene del griego Poly que significa muchos y Meros parte o segmento. Los polímeros, es la unión repetida y consecutiva de moléculas mas pequeñas llamadas monómeros que se mantienen unidas por la fuerza de cohesión que se ejerce en diversas direcciones y con diferente intensidad, las cuales según su conformación estructural determinan la naturaleza y características de todas las materia plásticas.

A continuación se encuentra una tabla con los nombres y las estructuras de las moléculas de algunos de los principales polímeros sintéticos.

Tabla 2.1: TIPOS DE POLÍMEROS Y SU ESTRUCTURA

Nombre	Fórmula
Polietileno	$\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \right]_n$
Polipropileno	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH} - \text{CH}_2 \end{array} - \right]_n$
Poliuretano	$\left[\left(\text{CH}_2 \right)_3 - \text{HN} - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{O} - \right]_n$
Cloruro de polivinilo Policloruro de vinilo (PVC)	$\left[\text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{CH} \end{array} - \right]_n$
Poliestireno	$\left[\text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} - \right]_n$ 

Poliacrilato de metilo	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\begin{array}{c} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{O} \end{array}}{\text{CH}} \right]_n$
Polimetacrilato de metilo	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\begin{array}{c} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{C}} \right]_n$
Polioximetileno	$\left[\text{O}-\text{CH}_2 \right]_n$
Nylon	$\left[\text{HN}-(\text{CH}_2)_6-\text{HN}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C} \right]_n$
Polisulfuro de fenileno	$\left[\text{C}_6\text{H}_4-\text{S} \right]_n$

2.4.3 Aditivos

En la elaboración de productos plásticos es necesaria la adición de aditivos que mejoren sus propiedades tanto físicas como químicas, dependiendo de la utilidad final que vaya a tener el polímero. Por lo común, se pone mucho énfasis en el mezclado entre el polímero puro con sus respectivos aditivos, tratando siempre de lograr una repartición homogénea entre las diversas partículas, se esto depende la calidad de producto a obtener.

Comercialmente existe una amplia gama de aditivos a los cuales se los puede agrupar o clasificar de la siguiente forma:

2.4.3.1 Aditivos modificadores

Son aditivos que tienen como finalidad alteran las propiedades físicas del polímero con el fin de obtener mejores características en cuanto a su calidad, cada uno de estos aditivos cumplen funciones específicas las cuales citamos a continuación:

- *Negro de carbono.*- cuyo efecto principal es la marcada resistencia a la abrasión, es utilizado en grandes cantidades en la elaboración del caucho específicamente en neumáticos y bandas.
- *Rellenos de Esfuerzo.*- utilizados básicamente para incrementar la tenacidad en los polímeros, este reforzamiento depende del tamaño pequeño de partícula del relleno, como por ejemplo la sílice en partículas muy finas.
- *Plastificantes dilatadores.*- por lo general se presentan como polvos ayudan a dar rigidez y reducir la adherencia, pero también se lo añade para hacer más barata la mezcla, los más comúnmente usados son el carbonato de calcio, el caolín o aceites de hidrocarburos (para cauchos).
- *Plastificantes.*- como el dioctilfalato o el tricresilfosfato (éster de alta temperatura de ebullición) que permiten incrementar la flexibilidad, por lo común son líquidos no volátiles y un ejemplo de estos es el PVC plastificado flexible.
- *Aditivos químicos.*- se utilizan principalmente para generar enlaces cruzados, propiciando que las cadenas de polímeros se unan en varios puntos a lo largo de toda su molécula, un ejemplo de aditivo químico es el azufre que en el proceso de vulcanización entrelaza químicamente las cadenas de caucho. El efecto del entrelazamiento cruzado o reticulación es que incrementa la resistencia y la rigidez, y reduce la deformación permanente cuando el material se somete a cargas debido a que los enlaces cruzados impiden el deslizamiento de las cadenas.
- *Agentes de expansión.*- como el bicarbonato de sodio que se utiliza para obtener productos celulares o espumados, el mismo que actúa a una temperatura adecuada, desprendiendo gas a presión para luego equilibrarse con la viscosidad del polímero fundido y producir una espuma, ejemplo más común es la esponja. Existen otros agentes espumantes que desprenden nitrógeno y es utilizado generalmente en materiales que se funden a mayor temperatura.
- *Pigmentos o colorantes.*- utilizados básicamente para teñir al polímero o producto terminado.

2.4.3.2 Aditivos protectores

Son aditivos utilizados en la preservación del polímero durante y después del proceso en la vida útil del producto, existe un gran número de aditivos y citamos a continuación los más representativos

- *Antioxidantes.*- son usados para proteger al polímero contra la oxidación atmosférica. Las cadenas moleculares de varios polímeros presentan sitios que son susceptibles al ataque del oxígeno produciendo la oxidación y una reacción secuencial provocan finalmente la escisión de la cadena. Sin protección sería imposible obtener satisfactoriamente el polímero, como es el caso del polipropileno debido a que sería inevitable la pérdida de ciertas características.
- *Estabilizadores Térmicos.*- utilizados para evitar la degradación del polímero debido a las altas temperaturas presentes en el proceso, el fenómeno más notable que evita es la despolimerización provocado por las temperaturas elevadas.
- *Antiozonantes.*- son usados particularmente en la elaboración del caucho debido a que su estructura molecular dobles enlaces insaturados que son muy sensibles al ataque del ozono, mas aun cuando el caucho está sometido a esfuerzos. El efecto es visible con la aparición de grietas superficiales.
- *Estabilizadores de luz ultravioleta.*- es utilizado con el fin de absorber la radiación ultravioleta y emitirla al exterior con una longitud de onda reducida e inofensiva, sin estos aditivos se iniciarían reacciones en cadena llegando a la degradación oxidante.
- *Lubricantes.*- a los lubricantes también se los pueden considerar como aditivos ya que intervienen en el proceso de transformación, pueden ser lubricantes internos y externos. Los internos lubrican los gránulos de polímero y de los otros aditivos permitiendo una fusión más fácil en frío reduciendo el riesgo de daño térmico. Los externos son utilizados para facilitar el paso del material por la maquinaria que se utiliza para el proceso, pueden ser ceras o aceites.

2.4.4 Mezclas de polímeros y aditivos

En el proceso de fabricación de polímeros la calidad del producto depende principalmente de la efectividad en la mezcla, por tal motivo es necesario optar por el proceso más adecuado que garantice una buena distribución y dispersión entre los aditivos y gránulos de polímero.

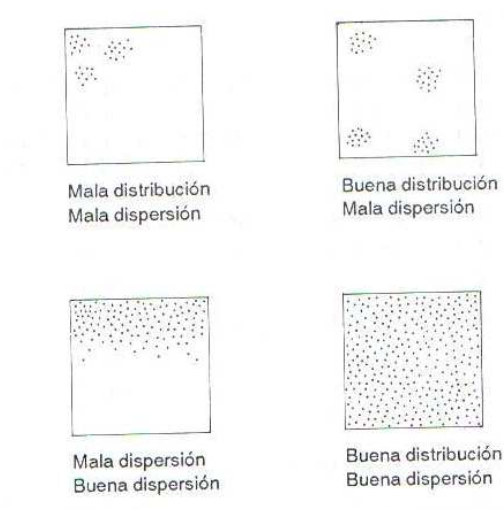


Figura 2.11: Representación Esquemática de las Mezclas Distributivas y Dispersas.

Existen dos formas básicas para mezclar pudiendo optar por cualquiera de los procesos tomando en cuenta los materiales y las condiciones de fabricación. Las dos formas básicas son: Mezcla Extensiva y Mezcla Intensiva [5]

2.4.4.1 Mezcla extensiva, distributiva o de homogeneización

La mezcla extensiva es un proceso que se lo realiza en estado sólido, esto implica revolver y combinar una cantidad de sólidos como los polvos o gránulos de polímero con antioxidantes, plastificantes, rellenos y otros aditivos, obteniendo una correcta distribución y homogeneización. Puede agregarse cierta cantidad de líquidos para obtener mayor adherencia entre gránulos.

Esta mezcla es utilizada en la mayoría de los casos tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando el proceso de fabricación tiene alguna etapa de formación de compuestos. Por ejemplo, pueden revolverse pigmentos con los gránulos o el polvo de polímero antes del moldeo por inyección o la extrusión para dar algún color al producto.
- En el caso de polvos de materiales termoestables, los cuales son a menudo mezclas homogéneas de resinas pulverizadas y cargas que se dispersan al fundirse la resina durante el moldeo.
- Como una etapa preliminar de un proceso en que se forman de compuestos separados.

2.4.4.2 Mezcla intensiva, dispersiva o formación de compuestos

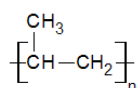
En este tipo de mezcla el proceso requiere de la aplicación de grandes fuerzas cortantes que provocan o mantienen el cambio físico de los componentes y además contribuye a la dispersión de los aditivos sobre el polímero, en este proceso el material debe estar en estado fundido o gomoso que permite la formación de compuestos.

Este tipo de mezcla es necesaria como un proceso individual tomando las siguientes consideraciones:

- Cuando se requiere distribución precisa y dispersión de los ingredientes interactivos. Un ejemplo es la formación de compuestos de caucho donde cuatro o cinco aditivos tienen que actuar juntos para facilitar una operación y que sea eficaz la reticulación de cadenas del caucho. Deben estar uniformemente distribuidos y finamente dispersos en el seno del polímero para lograr este objetivo.
- Cuando se usan grandes cantidades de ingredientes modificadores, por ejemplo, carga, plastificantes, otros polímeros, etc.
- Cuando el proceso de fabricación tiene una función de formación de compuestos insuficiente o escasa.

2.4.5 El polipropileno.

El polipropileno es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador específico. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en el futuro. Es un producto inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. Esta es una característica atractiva frente a materiales alternativos.



La buena acogida que ha tenido el Polipropileno ha estado directamente relacionada con su versatilidad, sus buenas propiedades físicas y la competitividad económica de sus procesos de producción. Varios puntos fuertes lo confirman como material idóneo para muchas aplicaciones:

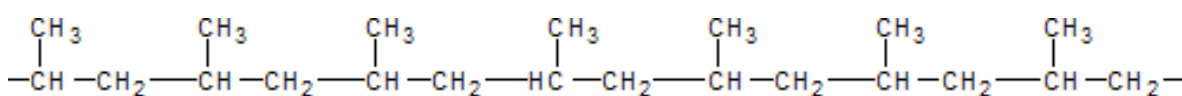
- Baja densidad
- Alta dureza y resistente a la abrasión
- Alta rigidez
- Buena resistencia al calor
- Excelente resistencia química
- Excelente versatilidad

Por la excelente relación entre sus prestaciones y su precio, el polipropileno ha sustituido gradualmente a materiales como el vidrio, los metales o la madera, así como polímeros de amplio uso general (ABS y PVC).

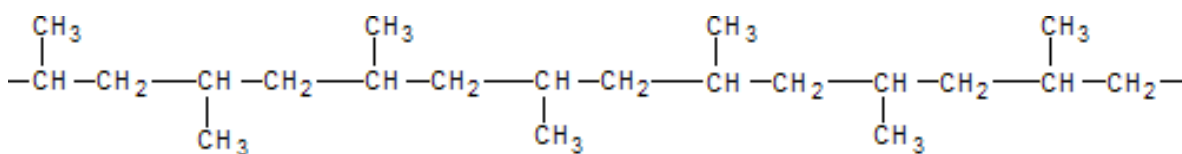
Las principales compañías petroleras del mundo producen polipropileno, bien sea por participación directa, o por medio de filiales. En el transcurso de los últimos años el volumen de negocio del polipropileno ha ido creciendo de manera significativa, tanto en el mundo como dentro del grupo.

2.4.5.1 Estructura del polipropileno

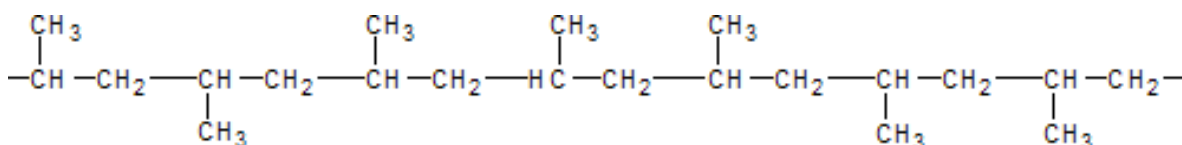
Estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo. El polipropileno fabricado de manera industrial es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados. Cada dos átomos de carbono de esta cadena principal, se encuentra ramificado un grupo metilo (CH_3). Esto permite distinguir tres formas isómeras del polipropileno:



Isotáctica



Sindiotáctica



Atáctica

Estas se diferencian por la posición de los grupos metilo- CH_3 con respecto a la estructura espacial de la cadena del polímero.

Las formas isotácticas y sindiotácticas, dada su gran regularidad, tienden a adquirir en estado sólido una disposición espacial ordenada de las cadenas de carbono, semicristalina, que confiere al material unas propiedades físicas excepcionales. La forma atáctica, en cambio, no tiene ningún tipo de cristalinidad. Los procesos industriales más empleados están dirigidos hacia la

fabricación de polipropileno isotáctico que es el que ha despertado mayor interés comercial.

2.4.5.2 Propiedades del polipropileno.

Dentro del gran sin número de propiedades que maneja este material, deben destacarse unas que en especial son de mucha importancia como son:

Propiedades físicas

- La densidad del polipropileno, está comprendida entre 0.90 y 0.93 gr/cm³
- Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros.
- Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25.5 kg/cm², aplicada durante 24 horas no produce deformación apreciable a temperatura ambiente y resiste hasta los 70 grados C.
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica.
- Tiene una excelente compatibilidad con el medio.
- Es un material fácil de reciclar
- Posee alta resistencia al impacto.

Propiedades mecánicas

- Puede utilizarse en calidad de material para elementos deslizantes no lubricados.
- Tiene buena resistencia superficial.
- Tiene buena resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse.
- Tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.
- Propiedades eléctricas
- La resistencia transversal es superior a 10¹⁶ Ω cm.
- Por presentar buena polaridad, su factor de pérdidas es bajo.
- Tiene muy buena rigidez dieléctrica.

Propiedades químicas

- Tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos.
- Presenta poca absorción de agua, por lo tanto no presenta mucha humedad.
- Tiene gran resistencia a soluciones de detergentes comerciales..
- El polipropileno como los polietilenos tiene una buena resistencia química pero una resistencia débil a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).

2.5 MÉTODOS PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS

A partir de los polímeros y de acuerdo con el tipo de artículo que se desea confeccionar se emplean distintos procedimientos, siendo los principales:

- Moldeo por inyección
- Moldeo por soplado
- Moldeo por vacío
- Calandrado
- Moldeo por extrusión

2.5.1 Moldeo por inyección

Es un proceso netamente a presión en el interior de un cilindro, donde un émbolo o pistón de inyección se mueve rápidamente hacia adelante y hacia atrás para empujar al polímero ablandado por el calor, comúnmente para el ablandamiento del material se emplea resistencias eléctricas colocadas en el centro del cilindro con la finalidad de tener una capa delgada de plástico que facilite la fundición. En el proceso se destaca la acción combinada del calor y la presión ejercida por el pistón, para llevar al plástico a las condiciones de trabajo, el polímero fluidificado es conducido a un molde frío donde debido a la presión ejercida toma forma la pieza a fabricar.

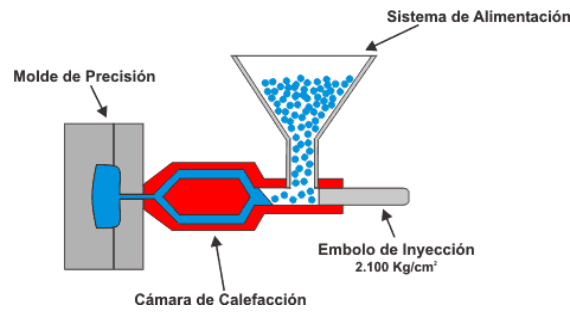


Figura 2.12: Moldeo por Inyección

2.5.2 Moldeo por soplado

Es un moldeo usado para hacer formas huecas como botellas u otros recipientes cuyo proceso se caracteriza por el uso de aire comprimido o vapor. El primer paso es extruir un cilindro plástico de paredes delgadas que será cortado en el largo que se desea y sellado en un extremo. Siguiendo una secuencia se coloca al cilindro cortado en un molde que una vez cerrado se inyecta una corriente de aire o vapor por un extremo y expande al material hasta llenar la cavidad del molde. Finalmente el molde es enfriado para la fragua.

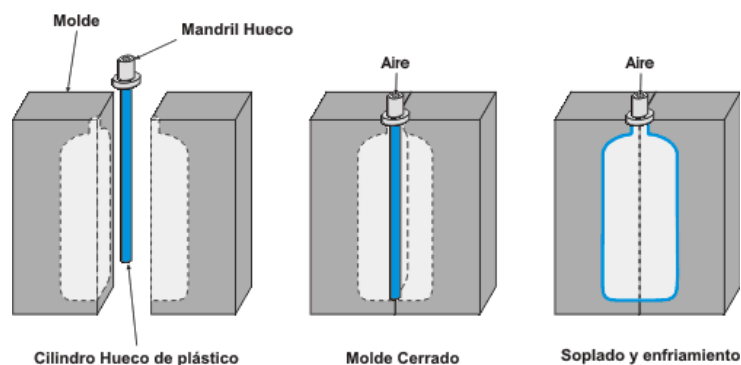


Figura 2.13: Moldeo por Soplado

2.5.3 Moldeo por vacio

Es un proceso de prensado, donde se comprime una chapa o plancha de resina termoplástica ablandada debido a la aplicación de calor, contra un molde frío. La chapa toma y conserva la forma del molde.

2.5.4 Calandrado

El proceso consiste en pasar un polímero convertido en una masa blanda entre una serie de rodillos calentados. En este moldeo es indispensable que el polímero llegue a su índice de fluidez y distribuirlo en un Dado mallado de tal forma que alcance la anchura de lamina deseada, una vez que el polímero sale del Dado pasa a través de los rodillos se forma un producto uniforme, con el último par de rodillos se da el espesor deseado al aumentar o disminuir la luz existente entre los rodillos. El sistema de rodillos de enfriamiento da a las planchas su estructura molecular permanente. Este proceso se emplea principalmente para la fabricación de chapas y películas plásticas planas u onduladas (techos).

2.5.5 Moldeo por extrusión

A la extrusión se la puede definir como la acción de forzar a un material reblandecido a través de un dado o boquilla, mediante la aplicación de una fuerza de presión.

El moldeo por extrusión se caracteriza por utilizar un transportador de tornillo helicoidal que permite un flujo constante de polímero en el proceso. El polímero granulado es alimentado por gravedad desde la tolva hacia la zona de dosificación y atraviesa ciertas zonas de la cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga, cuya matriz dará la forma al producto. Al final del proceso el polímero emerge de la matriz de extrusión en un estado blando. Entre sus formas finales podemos citar chapas y tuberías.

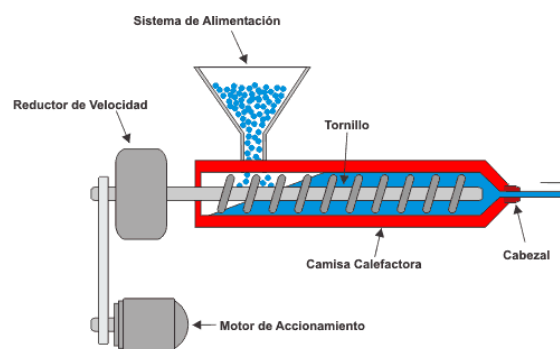


Figura 2.14: Moldeo por Extrusión

Toma como modelo el funcionamiento de un tornillo de Arquímedes colocado con precisión dentro de la camisa cilíndrica, con una tolerancia suficiente que le permita rotar. En los procesos modernos se usan tornillos helicoidales modificados según el tipo de material, también se usan extrusores de tornillos gemelos si se requiere mayor efectividad.

El polímero en principio en estado sólido granulado es sometido al calor debido al calentamiento de la camisa ya sea por la aplicación de resistencias eléctricas en la periferia del cilindro o cualquier otro sistema; una vez que fluye a lo largo de la camisa el material llega a la boquilla en estado fundido o gomoso, adecuado para su conformado. En este proceso dentro de la máquina el polímero se funde y homogeneiza.

2.5.5.1 Características de un extrusor de tornillo simple

El tornillo de un extrusor tiene uno o dos "hilos" en espiral a lo largo de su eje. El diámetro medido hasta la parte externa del hilo es el mismo en toda la longitud para permitir un ajuste preciso en una camisa cilíndrica, con un claro apenas suficiente para dejarlo rotar. La "raíz" o núcleo es de diámetro variable, de manera que el canal en espiral varía en profundidad. En general, la profundidad del canal disminuye desde el extremo de alimentación hasta el extremo del dado aunque existen modificaciones con fines especiales. Una consecuencia de que disminuya la profundidad del canal es el incremento de la presión a lo largo del extrusor y ésta es la que impulsa el material fundido a pasar a través del dado. [6]

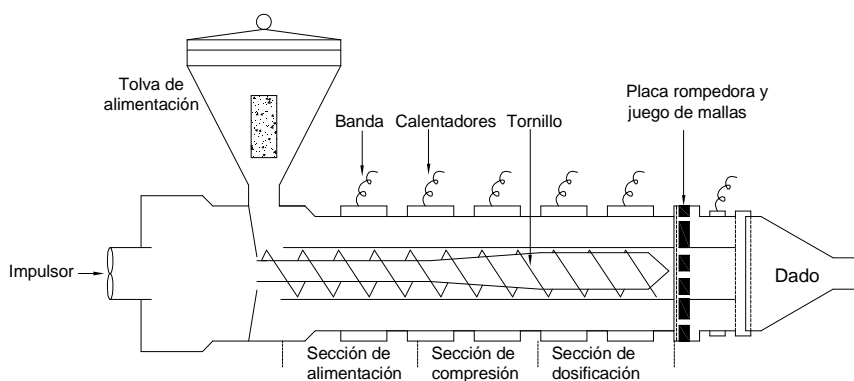


Figura 2.15: Extrusor de Tornillo

2.5.5.2 Zonas en un extrusor de tornillo simple.

La eficacia del proceso depende de la profundidad del canal que arrastra el polímero, si se toma en cuenta al formarse el charco fundido se reduce el contacto entre los sólidos y la camisa caliente, la "masa" se funden gracias a la temperatura del material fundido que hay alrededor. Debido a este fenómeno se ha seccionado al extrusor en cuatro zonas, siendo las siguientes:

- Zona de Alimentación
- Zona de Compresión
- Zona de Dosificación
- Zona del dado.

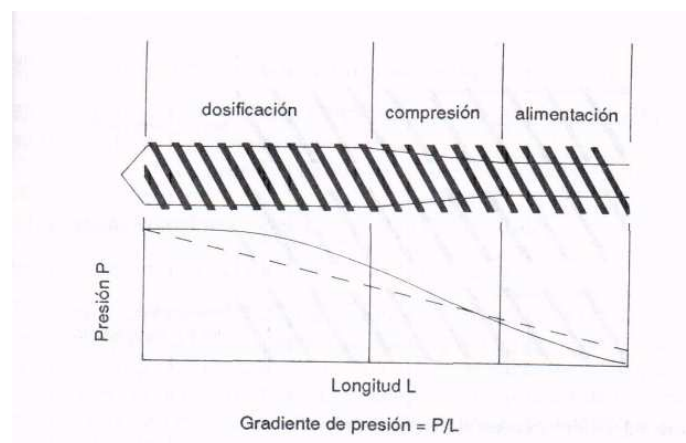


Figura 2.16: Zonas del Tornillo

2.5.5.2.1 Zona de alimentación

La primera zona, denominada comúnmente de "alimentación", es donde el polímero ingresa, precalienta y transporta a las zonas siguientes. Mantiene una profundidad de tornillo constante y la longitud dependerá del tipo de polímero, la alimentación debe ser efectiva para que no sea deficiente ni excesiva.

2.5.5.2.2 Zona de Compresión

La segunda zona o de “compresión” tiene una profundidad de canal decreciente. Esta zona tiene diferentes funciones entre la cuales destacan:

- Expulsar el aire atrapado entre los gránulos originales
- Mejorar la transferencia de calor desde las paredes del barril calentado conforme el material se vuelve menos espeso
- Dar el cambio de densidad que ocurre durante la fusión.

2.5.5.2.3 Zona de Dosificación

La tercera zona o de “dosificación” presenta una profundidad de tornillo constante, la misma que es menor a las de las zonas ya mencionadas. Su función es la de homogeneizar la temperatura del material fundido y general una presión constante que permita suministrar a la región del dado material de calidad.

2.5.5.2.4 Zona del Dado

La última zona del proceso de extrusión es la “zona del dado”, caracterizada porque presenta una placa de acero perforada conocida como la *placa* rompedora y un juego de mallas que permite la distribución del material a lo largo de la boquilla o también denominado *labio*. El ensamble placa rompedora-juego de mallas tiene tres funciones:

- Evitar el paso de material extraño, por ejemplo, polímero no fundido, polvos, cuerpos extraños.
- Crear un frente de presión cuando se opone una resistencia al bombeo de la zona anterior con la finalidad de que esta presión supla la fuerza impulsora para vencer la resistencia del dado.

- Eliminar la "memoria de giro" del material fundido, debido a la trayectoria de la espiral del tornillo.

2.5.5.3 Eficiencia de fusión

Puede resumirse el efecto de las diferencias en las características del tornillo como sigue:

- Canal más profundo: transporta más material, pero tarda más en completar la fusión
- Operación rápida: aumenta la producción, pero los sólidos persisten a lo largo del tornillo al terminar la operación.
- Un canal menos profundo puede ayudar a una operación rápida para aumentar la producción debido a una fusión más efectiva, pero el peligro está en que el alto esfuerzo de corte que resulta puede conducir a un sobrecalentamiento.

2.6 COMBUSTIBLES

Un Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando su estructura física o química es cambiada o transformada. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química, se conoce como energía química). En general se trata de algo susceptible de quemarse, pero hay excepciones que se explican a continuación.

Los combustibles fósiles son mezclas de compuestos orgánicos mineralizados que se extraen del subsuelo con el objeto de producir energía por combustión. El origen de esos compuestos son seres vivos que murieron hace millones de años. Se consideran combustibles fósiles al carbón, procedente de bosques del periodo carbonífero, el petróleo y el gas natural, procedentes de otros organismos.

2.6.1 Clasificación.

Hay varios tipos de combustibles:

- Combustibles sólidos se incluyen el carbón, la madera y la turba.
- Combustibles fluidos, se encuentran los líquidos como el gasóleo, el queroseno o la gasolina (o nafta)
- Combustible gaseosos, como el gas natural o los gases licuados de petróleo (GLP), representados por el propano y el butano.
- Aunque poco utilizado todavía, es también combustible el hidrógeno, y además es limpio, pues al combinarse con el oxígeno deja como residuo vapor de agua.

2.6.2 Gas licuado de petróleo (GLP)

El GLP se aplica a un pequeño número de hidrocarburos que a temperatura ambiente y presión atmosférica se encuentran en estado gaseoso y que al ser sometidos a una presión relativamente baja pasan al estado líquido. Los principales representantes son el propano y butano, cuya mezcla en aproximadamente 60% y 40%, respectivamente, se comercializa en el país envasado en cilindros.

Algunas de las características físicoquímico más importantes que se deben conocer de este producto son las siguientes:

El GLP en su estado natural no tienen olor ni color y, a fin de que sea detectada su presencia, se agregan, en mínimo porcentaje, sales de azufre que le confiere el olor característico.

- El GLP es inflamable al mezclarlo en proporciones adecuadas con el aire y arden al aplicar un punto de ignición. Para que una mezcla de gas propano y aire sea inflamable debe tener un rango de concentración del 2.2 % al 9.5 %. La mezcla que se encuentre fuera de estas proporciones no es inflamable.

- El propano y el butano son, en estado líquido, más ligeros que el agua y, en estado gaseoso, son más pesados que el aire. Por ello, cuando existe una fuga de GLP, éste se deposita en las partes más bajas.

Es muy importante conocer cuál es el comportamiento del GLP dentro de los cilindros domésticos y los cuidados y medidas preventivas a adoptar. Un cilindro en reposo, a su salida de la planta envasadora, está lleno de GLP en fase líquida en sus tres cuartas partes, aproximadamente. El resto lo ocupa la fase gaseosa, la cual actúa como un amortiguador del cilindro en caso de sobrepresión.

Al abrir el regulador de un cilindro con GLP, la fase gaseosa fluye de manera inmediata produciéndose un desequilibrio en las presiones de la fase líquida y gaseosa. Esta situación rompe el estado de reposo existente y la fase líquida tenderá a vaporizarse. Para que continúe la vaporización, se requiere la aportación de calor, que es tomado de su propia masa, de las paredes del cilindro y del medio ambiente que rodea al cilindro. Esta es la causa por la cual se produce enfriamiento del cilindro y condensación de agua en la parte exterior del mismo, en casos prolongados de uso puede generarse escarcha de hielo alrededor del cilindro.

En nuestro país tenemos dos tipos de cilindros, el de uso comercial o industrial y el de uso doméstico.

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO Y PROYECCIÓN DEL SISTEMA.

3.1 PARÁMETROS GENERALES DEL SISTEMA.

El sistema de calentamiento está encaminado a disminuir los costos de producción de las planchas de techo translucido cuyo material base es el polipropileno, el sistema trata de un Horno Continuo con transportador de Tornillo cuya fuente de calor es la combustión de GLP, el objetivo principal es calentar el cilindro o camisa de transporte a una temperatura de 300 °C (temperatura establecida), debido a la transferencia de calor por conducción, el polipropileno granulado que arrastra el tornillo se calienta hasta llegar a su temperatura de fluencia de 180 °C siendo el estado optimo para la extrusión y calandrado.

Es primordial mantener una temperatura casi constante en el cilindro, aproximadamente con una variación de ± 5 °C , por lo que se ve la necesidad de trabajar con dos potencias de flama, es decir la flama de mayor longitud (mayor flujo de gas) hasta alcanzar la temperatura máxima de 305 °C y la de menor longitud hasta llegar a la temperatura mínima.

El sistema a gas a implementar cubre las dos terceras partes del cilindro que compone toda la extrusora, es decir la zona de alimentación y la de presión, manteniendo el sistema original de resistencias en la zona de dosificación y del dado, esto con el fin de garantizar la homogeneidad del polímero a la salida del dado.

En fin se estaría relevando o sustituyendo a nueve resistencias eléctricas de 1800 W cada una, por el uso de combustible (GLP), esto implica un ahorro económico cuyo estudio se mostrará más adelante.

3.2. CONDICIONES FÍSICAS

Debido a que la extrusora ya está construida nos hemos tenido que regir a un espacio físico determinado, de 112 cm de largo (longitud entre la zona de alimentación y de compresión del tornillo) y 45 cm de ancho (acorde a la bancada). Siendo necesario ciertas modificaciones en la bancada para facilitar el montaje y desmontaje del sistema.

El tablero de control y el sistema de distribución de gas deberán ir a un extremo de la cámara de combustión por facilidad de operación con los reguladores o controladores, para evitar lecturas irreales (1.5 m long máx. cable de la termocupla) o pérdidas de presión desde el regulador hasta el shiglor.

3.3 CAPACIDAD DE CARGA

Al tratarse de una máquina ya diseñada se tomará como dato para los respectivos cálculos una capacidad de carga de 120 Kg/h , sabiendo que la producción es continua durante los cinco días laborables de la semana. Esta capacidad de carga puede ser variable dependiendo del tipo de polímero y se lo realiza simplemente al modificar las revoluciones del motor mediante un variador de frecuencia.

3.4 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control tiene como finalidad manejar dos flujos para cada quemador, mediante el accionamiento y desactivación de electroválvulas cuando se ha llegado a la temperatura seteada. Está conformada por un LGA que actúa como cerebro y envía las señales tanto para las electroválvulas como para el electrodo de encendido.

Entre los componentes principales del sistema de control están las termocuplas, controladores, válvula piloto, electrodo de encendido, reguladores de presión, electroválvulas, electrodo de ionización, accesorios eléctricos entre otros, a continuación se detalla cada uno de ellos:

- Termocuplas.- son instrumentos sensores de temperatura que están en contacto directo con el cilindro caliente y envían una señal en mA hacia el controlador. Para el sistema se utilizará termocuplas tipo J tomando en cuenta que estas termocuplas pueden medir hasta una temperatura máxima de 780 °C.
- Controladores.- son instrumentos controladores-registradores que recibe la señal eléctrica de la termocupla y la transforma a unidades de temperatura, se lo puede programar o setear a la temperatura deseada la misma que será enviada hacia el LGA que dará las respectivas ordenes de operación.
- Válvula Piloto.- es utilizada para el encendido de los quemadores, es un piloto de bigote de acero inoxidable que permite el flujo de gas a muy baja presión hacia los dos extremos.
- Electrodo de encendido.- va acoplado al piloto y su función es generar una chispa eléctrica que encienda a la válvula piloto, funciona con un transformador de 120 V a 12V.
- Reguladores de presión.- determinan el flujo de gas que circula en cada ramal, el sistema consta de seis reguladoras, de 1ª etapa utilizada para reducir la presión de 120 lb a 30 lb (a la salida de la centralina), dos reguladoras con presión máxima de trabajo de 15 lb para la mayor longitud de flama y tres reguladoras con presión máxima de 5 lb para la menor longitud de flama y la válvula piloto.
- Electroválvulas.- son instrumentos que abren y cierran el flujo de gas dependiendo de la señal del LGA, el sistema funciona con cinco electroválvulas, tres de ½" para el manejo de mayor flujo de gas y dos ¼" para menor flujo de gas (llama baja).
- Electrodo de Ionización.- es un instrumento de seguridad, va acoplado al piloto donde mide si existe llama, en caso de no haber llama enviará

una señal al LGA el mismo que ordenará el cierre inmediato de las electroválvulas.

- Accesorios eléctricos.- son los utilizados para las conexiones eléctricas, tales como: contactores, reles, fusibles, cable, pulsador ON-OFF, focos de señalización, entre otros.

3.5 PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA TERMICO

En el sistema térmico existen tres zonas claramente diferenciadas por la función que cumple cada una de ellas, se le podría dividir en: cámara de combustión, recuperador y chimenea.

3.5.1 Cámara de combustión

Es donde se acumula toda la energía calorífica para ser fragmentada en calor útil y calor de perdidas. Se ha dispuesto el diseño de una cámara cilíndrica tomando en cuenta la geometría del cilindro de la extrusora y la facilidad de dirección del flujo que rodee al mismo. Serán construidas de tol negro en el exterior por motivos de pintura y acero inoxidable en su interior para proteger al horno de la corrosión debido a las altas temperaturas. En la cámara se puede diferenciar dos componentes fundamentales que son: los quemadores y deflectores.

3.5.1.1 Quemadores de GLP

Se utilizará dos quemadores industriales rectangulares de aproximadamente 8x45 cm de área de flama, con capacidad de 1.22 Kg/h cada uno.

Poseen su respectivo pulmón donde se acumula el gas presurizado, shiglor que va acoplado al pulmón y es un agujero diminuto aproximadamente de 0.5 mm que incrementa la presión disminuyendo el flujo de gas hacia los quemadores y por último la ventolera donde se produce la mezcla aire combustible de aquí depende la calidad de llama.

La potencia alcanzada deberá ser similar a la del sistema original (por resistencias) para garantizar el normal funcionamiento.

3.5.1.2 Deflectores

La distribución de calor en forma homogénea a lo largo de toda la periferia del cilindro es el objetivo principal del diseño de la cámara de combustión, sabiendo que sería complejo encontrar un modelo matemático que permita alcanzar este objetivo, se ha dispuesto el diseño de deflectores curvos y en V, buscando evitar quemar el polipropileno debido la radiación directa de la flama contra el cilindro y se conducirá líneas de flujo de los gases calientes en forma radial y proporcional para cada punto del cilindro, de esta forma se espera obtener una mejor distribución de gases calientes en toda la cámara.

3.5.2 Recuperador

Para el sistema se diseñará un recuperador transversal con el fin de precalentar el aire de combustión y buscar un ahorro de combustible, está constituido básicamente de un banco de tubos que no presenta partes complejas e ira adjunto a la parte superior de la cámara de combustión, el flujo transversal de aire será impulsado por un ventilador de baja capacidad o un blower que satisfaga las condiciones de caudal de aire requerido.

3.5.3 Chimenea

La chimenea tiene la función de provocar un tiro y evacuar los gases de combustión hacia el medio ambiente, para un sistema a gas se pudiera obviar el diseño de la chimenea ya que su combustión es casi completa y no produce humos, pero por motivo de dinamizar flujo de gases calientes en el interior del hogar y evitar que un ventilador cercano recoja gases calientes de la cámara se ha optado por el diseño de la chimenea cuyo material puede ser de acero negro.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS

4.1 DISEÑO TERMICO DEL SISTEMA

4.1.1 Calculo de la potencia del sistema

Es necesario mencionar que tomando referencias del diseño original se pude estimar la potencia requerida, como el sistema a gas reemplaza a 9 resistencias eléctricas de 1.8 KW cada una la potencia total estimada es de 16.2 KW.

4.1.1.1 Cálculo del Calor Útil para obtener la Fluidéz del Polipropileno.

El calor útil es la energía absorbida por el polipropileno al atravesar el cilindro (camisa), Conocida la temperatura a la que debe llegar el polipropileno y lo demás parámetros de diseño, aplicamos la siguiente fórmula:

$$Q_{util} = \frac{m \times c_p \times (T_f - T_o)}{t} \quad (1)$$

Donde:

- Q_{util} = cantidad de calor en Kcal/h.
- m = peso de la carga en Kg.
- C_p = Calor específico del material en Cal/gr. °C.
- T_f = Temperatura final en °C
- T_o = Temperatura inicial en °C
- t = tiempo en horas.

Datos:

- m = 120 Kg.
- C_p = 1.9 Kj/Kg°C = 0.4538 Cal/gr. °C. (Anexo A)

$$T_f = 220\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_o = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t = 1\text{ h}$$

Reemplazando en la ecuación (1) se obtiene:

$$Q_{util} = \frac{120\text{Kg} \times 0.4538 \frac{\text{Cal}}{\text{gr.}^{\circ}\text{C}} \times (220 - 15)^{\circ}\text{C}}{1\text{h}}$$

$$Q_{util} = 11163.48 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 12.9\text{ KW}.$$

4.1.1.2 Cálculo del Calor Total requerido por el Sistema

Para llevar al polipropileno a la temperatura antes señalada es necesario vencer una resistencia e inercia térmica del cilindro de transporte añadido a las pérdidas provocadas en el sistema, por lo que se considerará una potencia requerida igual al calor útil por un factor de servicio (ecuación 2), se tomará un valor recomendado de pérdidas de energía según los ingenieros en hornos.

$$F_s = 1.3 \text{ (Asumido) [7]}$$

$$Q_{requerido} = Q_{util} \times F_s \quad (2)$$

$$Q_{requerido} = 11163.48 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \times 1.3 = 14512.52 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 16.75\text{ KW}.$$

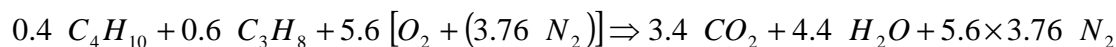
El calor requerido calculado guarda proporcionalidad con el calor requerido de diseño, mismo que será indispensable para los próximos cálculos.

4.1.2 Análisis estequiométrico:

El GLP es un combustible gaseoso constituido por Propano (C_3H_8), Butano (C_4H_{10}), Propileno (C_3H_6), Butileno (C_4H_8) e Isobutano ($(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$). Siendo lo mas habitual y representativo los dos primeros por lo que para el análisis estequiométrico se considera el 40% de Butano (C_4H_{10}) y 60% de Propano (C_3H_8). (Anexo B)

4.1.2.1 Combustión con Aire Teórico.

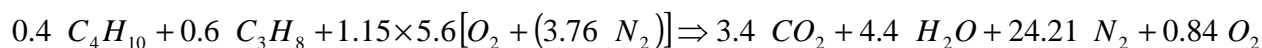
Esta combustión se la realiza en presencia de 100% de aire, obteniendo:



4.1.2.2 Combustión con exceso de Aire.

En la práctica es necesario la presencia de un exceso de aire para una mejor combustión, en nuestro caso tomaremos un valor medio del exceso de aire, el cual será de 15%. [8]

Y con 15% de aire tenemos: (Anexo C)



4.1.2.3 Análisis Volumétrico de los Productos de la Combustión

Siendo el número total de moles de los productos de la combustión:

$$n_T = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2}$$

$$n_T = 3.4 + 4.4 + 24.21 + 0.84$$

$$n_T = 32.85 \text{ moles}$$

(3)

El análisis volumétrico de los productos de la combustión es:

$$y_i = \frac{n_i}{n_T} \quad (4)$$

$$y_{\text{CO}_2} = \frac{3.4}{32.85} = 0.103$$

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{4.4}{32.85} = 0.133$$

$$y_{\text{N}_2} = \frac{24.21}{32.85} = 0.737$$

$$y_{\text{O}_2} = \frac{0.84}{32.85} = 0.026$$

4.1.2.4 Relación Aire Combustible.

En base Masa:

$$m_a = (n \times M)_a = (6.44 + 24.21) \times 29 = 889 \text{ Kg}_a \quad (5)$$

$$m_c = \sum_{i=1}^k (n \times M)_c = (0.6(44.1) + 0.4(58.12)) = 49.70 \text{ Kg}_c \quad (6)$$

$$r_{a/c} = \frac{m_a}{m_c}$$

$$r_{a/c} = \frac{889}{49.7} = 17.9 \frac{\text{kg. aire}}{\text{kg. comb.}} \quad (7)$$

4.1.2.5 Gasto de Combustible.

Para obtener la cantidad de combustible necesario partimos de la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_c = \frac{Q_{\text{requerido}}}{H_{ci}} \quad (8)$$

Donde:

\dot{m}_c = gasto de combustible en Kg/h.

$Q_{\text{requerido}}$ = Consumo calorífico en Kcal/h.

H_{ci} = Poder calorífico del gas en Kcal/Kg_c (Anexo D)

Siendo $H_{ci} = 10986.62 \text{ Kcal/Kg}_c$ el poder calorífico inferior, para obtener el mayor gasto de combustible.

Reemplazando en la ecuación (8) tendremos:

$$\dot{m}_c = \frac{14512.52 \text{ Kcal} / h}{10986.62 \text{ Kcal} / \text{Kg}_c}$$

$$\dot{m}_c = 1.32 \text{ Kg}_c / h$$

4.1.2.6 Gasto de Aire.

El gasto de aire reemplazando en la ecuación (7) es:

$$\dot{m}_a = r_{a/c} \cdot \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_a = 17.9 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{comb.}} \cdot 1.32 Kg_c / h$$

$$\dot{m}_a = 23.62 \frac{Kg_{aire}}{h}$$

4.1.2.7 Densidad de los gases quemados

Para determinar el flujo de los productos de combustión, determinaremos la densidad de los mismos, a una temperatura media de 330 °C:

Tabla 4.1: DENSIDAD DE PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN.

Producto de combustión	Densidad $\rho = (Kg / m^3)$
CO ₂	0.89
O ₂	0.709
N ₂	0.565
H ₂ O	0.365

$$\rho_p = y_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2} + y_{O_2} \cdot \rho_{O_2} + y_{N_2} \cdot \rho_{N_2} + y_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \quad (9)$$

$$\rho_p = 0.103 \cdot 0.89 + 0.026 \cdot 0.709 + 0.703 \cdot 0.565 + 0.133 \cdot 0.365$$

$$\rho_p = 0.57 Kg / m^3$$

4.2 DISEÑO DEL RECUPERADOR DE FLUJO TRANSVERSAL.

Con el fin de optimizar el consumo de combustible y mejorar la economía del horno se emplea los gases quemados para precalentar el aire de combustión

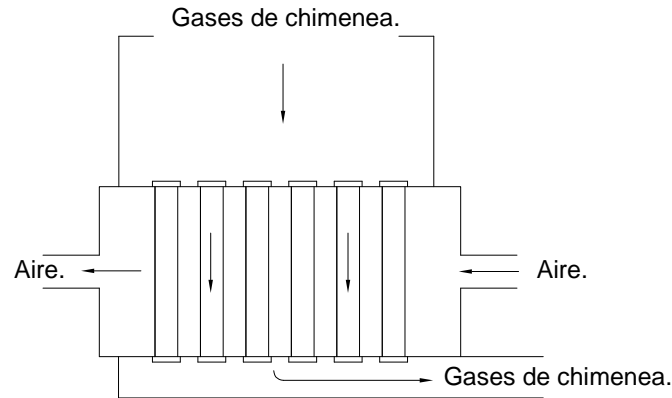


Figura 4.1: Recuperador con Flujo Transversal.

Datos en el recuperador:

$m_a = 23.62 \text{ Kg/h}$	Gasto de aire
$m_g = 24.94 \text{ Kg/h}$	Gasto de gases de combustión.
$c_a = 0.241 \text{ Kcal/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$	Calor específico del aire
$c_g = 0.45 \text{ Kcal/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$	Calor específico de gases de combustión.
$T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de entrada del aire
$T_a' = 160^\circ\text{C}$	Temperatura de salida del aire
$T_g = 350 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura entrada de los gases quemados

4.2.1 Determinación de la temperatura de salida de los gases quemados al pasar por el recuperador.

La temperatura de salida se calcula a partir del balance de energía expresado a continuación [9]:

$$q = \dot{m}_a c_a \Delta T_a = \dot{m}_g c_g \Delta T_g \quad (10)$$

Donde:

$$\Delta T_g = \frac{\dot{m}_a c_a \Delta T_a}{\dot{m}_g c_g} = \frac{\dot{m}_a c_a (T_a' - T_a)}{\dot{m}_g c_g} \quad (11)$$

$$\Delta T_g = \frac{23.62 \text{ Kg/h} \times 0.241 \text{ Kcal/Kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (160 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C})}{24.94 \text{ Kg/h} \times 0.45 \text{ Kcal/Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T_g = 70.1 ^\circ\text{C}$$

De modo que:

$$\Delta T_g = (T_g - T_g') \Rightarrow T_g' = T_g - \Delta T_g \quad (12)$$

$$T_g' = (350 - 70.1) ^\circ\text{C}$$

$$T_g' = 279.9 ^\circ\text{C}$$

Temperatura media de los gases quemados (por dentro de los tubos)

$$T_m = \frac{(350 - 279.9)}{\ln\left(\frac{350}{279.9}\right)} = 314.34 ^\circ\text{C}$$

4.2.2 Determinación de los coeficientes de transferencia de calor.

Utilizamos tubos de cobre cedula XS de ½ pulgada, los mismos que presentan los siguientes datos:

$k = 316 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$	Cond. Térmica del Cobre ha $314 ^\circ\text{C}$
$D = 21.3 \text{ mm} = 0.0213 \text{ m}$	Diámetro Exterior
$d = 18.06 \text{ mm} = 0.01806 \text{ m}$	Diámetro Interior
$v = 15 \text{ m/s}$	Velocidad gas quemado

4.2.2.1 Cálculo de coeficiente por convección debido a los gases quemados:

Al utilizar los gases de combustión para el calentamiento del aire tenemos los siguientes datos a partir de la temperatura media: (Anexo F)

$$k = 0.0425 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$$

$$\rho = 0.57 \text{ Kg}/m^3$$

$$\mu = 28.65 \times 10^{-6} \text{ Kg}/m.s$$

$$Pr = 0.6487$$

Número de Reynolds es:

$$Re = \frac{\rho \times v \times d}{\mu} \quad (13)$$

$$Re = \frac{0.57 \times 15 \times 0.01806}{28.65 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 5389.63$$

Por ser flujo turbulento, utilizamos la ecuación:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (14)$$

$$n = 0.4 \Rightarrow \text{paracalentar el fluido}$$

$$Nu = 0.023 (14372.35)^{0.8} (0.6487)^{0.4}$$

$$Nu = 18.67$$

$$h_i = Nu \frac{k}{d} \quad (15)$$

$$h_i = 18.67 \frac{0.0425}{0.01806} \quad h_i = 43.935 \frac{Kcal}{m^2.h.^{\circ}C}$$

4.2.2.2 Cálculo del coeficiente por convección debido al aire transversal a los tubos:

Se debe considerar que el flujo de aire estará en sentido transversal al los tubos el mismo que está regido por la siguiente ecuación: [10]

$$\frac{h \cdot D}{k} = C \left(\frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \right)^n Pr^{1/3} \quad (16)$$

Donde:

$h =$	coeficiente de transferencia de calor
$D =$	diámetro exterior del tubo
$k =$	conductividad térmica del aire a cierta temperatura
$C, n =$	constantes
$\rho =$	densidad
$v =$	velocidad del fluido
$\mu =$	viscosidad dinámica
$Pr =$	número de Prandtl

Cálculo de la temperatura en la superficie del tubo, a partir de la ecuación (10):

$$q = m_a c_a (T_a' - T_a)$$

$$q = 23.62 \times 0.241(160 - 20)$$

$$q = 796.93 \text{ Kcal/h}$$

Transferencia en el cilindro

$$q = \frac{2\pi k L (T_i - T_e)}{\ln(r_e/r_i)} \quad (17)$$

$$(T_i - T_e) = \frac{q \times \ln(r_e/r_i)}{2\pi k L}; \quad \text{Asumiendo un } L=0.2 \text{ m}$$

$$(314^\circ\text{C} - T_e) = \frac{796.93 \times \ln(0.01065/0.00903)}{2 \times \pi \times 316 \times 0.2}$$

$$T_e = 313.48^\circ\text{C}$$

Las propiedades del aire se evalúan a la temperatura de película:

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} = \frac{313.48 + 20}{2} = 166.75^\circ\text{C} \quad (18)$$

Donde:

T_s = Temperatura en la superficie del tubo

T_∞ = Temperatura del aire a calentar

Para una temperatura de 166.7°C se tiene: (Anexo G)

$$k = 0.0314 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$$

$$\rho = 0.7953 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 24.6168 \times 10^{-6} \text{ Kg/m.s}$$

$$\text{Pr} = 0.6868$$

$$v_{\max} = 2 \text{ m/s} \quad \text{Velocidad máxima en el recuperador (asumida)}$$

Número de Reynolds es:

$$\text{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.7953 \times 2 \times 0.0213}{24.6168 \times 10^{-6}} \quad \text{Re} = 1376.2869$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor, aplicando la ecuación (16):

Según Reynolds $C = 0.683$ y $n = 0.466$ (Anexo H)

$$h_e = \frac{k}{D} \cdot C \left(\frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \right)^n \text{Pr}^{1/3}$$

$$h = \frac{0.0314}{0.0213} \cdot 0.683 \cdot (1376.287)^{0.466} \cdot 0.6868^{1/3}$$

$$h_e = 25.67 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h.}^\circ\text{C}}$$

4.2.2.3 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_e}$$

(19)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{43.93} + \frac{0.00162}{316} + \frac{1}{25.67}$$

$$\frac{1}{U} = 0.0617$$

$$U = 16.2 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

4.2.2.4 Dimensionamiento del recuperador

Ecuación de la transferencia de calor por en los tubos de cobre: [9]

$$q = U \times A \times F \times \Delta T_m \quad (20)$$

Donde:

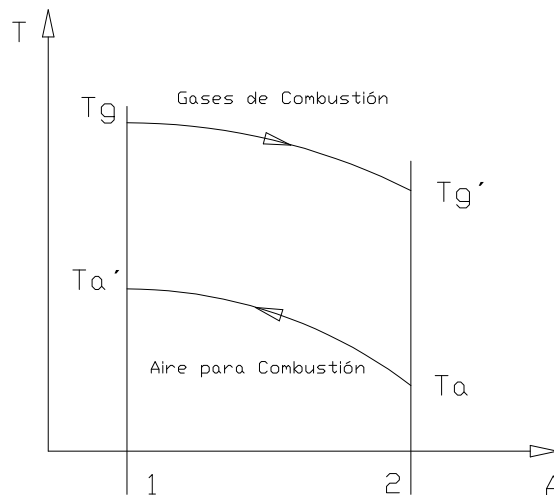
U = Coeficiente global de Transferencia de Calor

A = Superficie de Transferencia de Calor por la definición de U

ΔT_m = Diferencia Media de Temperaturas a través del regenerador

F = Factor de Corrección (Anexo E)

Calculo de la diferencia media de temperaturas (flujo contracorriente)



$$\Delta T_m = \frac{(T_g' - T_a') - (T_g - T_a)}{\text{Ln} \left[\frac{(T_g' - T_a')}{(T_g - T_a)} \right]} \quad (21)$$

$$\Delta T_m = \frac{(279.9 - 20) - (350 - 160)}{\text{Ln} \left[\frac{(279.9 - 20)}{(350 - 160)} \right]}$$

$$\Delta T_m = 223.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Área requerida para el calentamiento del aire, reemplazando en la ecuación (20):

$$A_r = \frac{q}{U \times F \times \Delta T_m}$$

$$A_r = \frac{796.93}{16.2 \times 0.97 \times 223.12} = 0.229 \text{ m}^2$$

Determinación de # de tubos

$$A_r = n \times A_{\text{tubo}}$$

$$A_r = n \times \pi \cdot d \cdot L$$

$$n = \frac{0.229}{L \times \pi \cdot 0.0213}$$

$$n = \frac{3.42}{L}$$

Tabla 4.2: DATOS DE LONGITUD Y NÚMERO DE TUBOS
PARA EL RECUPERADOR

LONGITUD (m)	NÚMERO DE TUBOS
0,25	13,68
0,20	17,11
0,15	22,81

Debido a las condiciones geométricas se utilizara tubos de cobre de ½ pulgada:

$$D = 21.3 \text{ mm}$$

$$d = 18.06 \text{ mm}$$

$$L = 150.0 \text{ mm}$$

$$n = 23$$

4.2.2.5 Selección del blower para convección forzada en el recuperador

A partir del flujo másico de aire requerido igual a 23.62 Kg/h y una sección transversal a la salida del recuperador de 3“, se escoge un blower de las siguientes características:

Da un flujo relativamente bajo que puede ser regulado según los requerimientos.

Donde:

$$\dot{V}_a = \frac{m_a}{\delta_a}$$

$$\dot{V}_a = \frac{23.62 \text{ Kg} / h}{0.7553 \text{ Kg} / m^3}$$

$$\dot{V}_a = 29.61 \text{ m}^3 / h$$

A partir del gasto volumétrico.

$$\dot{V}_p = \bar{v}A$$

$$\bar{v} = \frac{\dot{V}_p}{A} = \frac{0.008225 \text{ m}^3 / s}{0.00477 \text{ m}^2} = 1.72 \text{ m/s}$$

$$\bar{v} = 1.72 \text{ m/s}$$

El mismo que dará un flujo de salida del recuperador a 1.73 m/s de velocidad.

4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

Para el dimensionamiento de la cámara de combustión se ha tomado en consideración el criterio físico y de espacio con respecto a la bancada y la extrusora.

Datos:

$d = 0.2 \text{ m.}$ (diámetro de la extrusora)

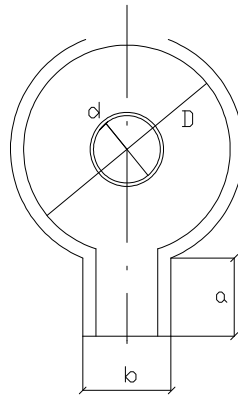
$L = 1.12 \text{ m.}$ (longitud de la cámara)

$Y = 0.12 \text{ m.}$ (distancia extrusora-bancada)

Debido a la distancia entre extrusora y bancada, nos asumimos un diámetro de la cámara de 0.4 m sin incluir el espesor del aislante.

$D = 0.4 \text{ m.}$

Cálculo de volumen de la Cámara de Combustión.



$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} L + abL$$

$$V = \frac{\pi(0.4^2 - 0.20^2)}{4} 1.12 + 0.12 \times 0.20 \times 1.12$$

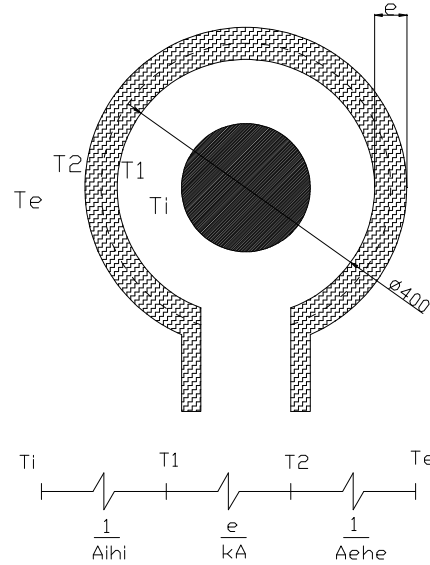
$$V = 0.132 \text{ m}^3$$

4.4 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR TECNICO DEL AISLANTE.

La pérdida de calor en un sistema térmico siempre estará presente, siendo necesaria la aplicación de un aislante adecuado, en la presente tesis se utilizará la lana cerámica debido a las mejores características térmicas que presenta frente a la lana de vidrio comúnmente utilizada.

Dado que la variación de la temperatura no debe ser brusca en un intervalo de tiempo, el sistema estará condicionado por una exigencia técnica antes que económica, aplicando los siguientes principios: [11]

Considerando que la cámara de combustión presenta una geometría cilíndrica se aplica la siguiente ecuación:



$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L (T_i - T_e)}{\frac{1}{(r_i)h_i} + \frac{\ln r_e/r_i}{k} + \frac{1}{(r_e)h_e}} \quad (22)$$

Donde:

- k = conductividad térmica del aislante en Kcal/h m °C.
- L = longitud de la cámara en m.
- T_e = Temperatura del exterior en °C.
- T_i = Temperatura interior gases de combustión en °C.
- r_e = Radio exterior del hogar en m.
- r_i = Radio interior del hogar en m.

Datos:

- k = 0.054 Kcal/h m °C. (Anexo I)
- L = 1.12 m.
- T_i = Temperatura interior 350 °C.
- T_e = Temperatura exterior 20°C
- r_i = 0.2 m.

a.- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h_e :

Temperatura de película exterior a la cámara de combustión:

$$T_f = \frac{(T_2 - T_e)}{2}$$

$$T_f = \frac{(100 - 20)}{2} = 40^\circ C$$

Para el aire a 40 °C tenemos las siguientes propiedades: (Anexo G)

$$\rho = 1.114 \text{ Kg}/m^3$$

$$k = 0.02350 \text{ Kcal}/m \cdot h \cdot ^\circ C$$

$$Pr = 0.705$$

$$\mu = 0.06783 \text{ Kg}/m \cdot h$$

Por tratarse de convección natural en le exterior de la cámara de combustión, h_e estará en función de el N° de Grashof y Prandtl

$$Gr = \frac{D^3 \times \rho^2 \times g}{\mu^2} (\beta \times \Delta t) \quad (23)$$

$$\beta = \frac{1}{Te_{abs}} = \frac{1}{308.75} = 0.003238 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta t = (100 - 20)^\circ C = 80^\circ C$$

$$Gr = \frac{0.45^3 \times 1.114^2 \times 35280}{0.06783^2} (0.003238 \times 80)$$

$$Gr = 224625.83$$

Como $(Gr \times Pr) = 2.245 \times 10^5 > 10^4$ por convección natural para el aire: (Anexo J)

$$h = 1.32 \left(\frac{\Delta t}{d} \right)^{1/4} \quad (24)$$

$$h = 1.32 \left(\frac{80}{0.45} \right)^{1/4} = 4.6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = 4.03 \frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$$

b.- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h_i :

Considerando que los gases en el interior de la cámara de combustión se encuentran a 350°C y con una velocidad aproximada de 1.5 m/s , se tiene los siguientes datos:

$$k = 0.0452 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$$

$$\rho = 0.571 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 29.95 \times 10^{-6} \text{ Kg/m.s}$$

$$\text{Pr} = 0.645$$

Como el interior de la cámara de combustión está constituida de deflectores que distribuyen y dirigen el flujo de los gases se considerará como una superficie plana, el número de Reynolds es:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot x}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.57 \times 1.5 \times 0.2}{29.95 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Re} = 5709.51$$

El número de Nusselt viene dado por:

$$\text{Nu} = 0.332 \times (\text{Re})^{1/2} \times (\text{Pr})^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 0.332 \times (5709.51)^{1/2} \times (0.645)^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 21.67$$

$$h_i = \text{Nu} \frac{k}{x}$$

$$h_i = 21.67 \cdot \frac{0.045}{0.2} = 4.78 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Cálculo de pérdida de calor en las paredes de la cámara de combustión, con un espesor asumido de 5 cm .

$$Q_{perdida} = A_2 \times h_e \times (T_2 - T_e)$$

$$Q_{perdida} = 1.81 \times 4.03 \times (100 - 20)$$

$$Q_{perdida} = 584.276 \frac{Kcal}{h}$$

Reemplazando en los datos en la ecuación (22)

$$584.27 = \frac{(2 \cdot \pi \cdot 1.12)(350 - 20)}{\frac{1}{(0.2)4.78} + \frac{\ln r_e/r_i}{0.054} + \frac{1}{(r_e)4.03}}$$

$$\frac{\ln r_e/r_i}{0.054} + \frac{1}{r_e 4.03} = 3.87 - \frac{1}{0.2 \cdot 4.78}$$

$$\ln(r_e/0.2) = 0.152 - \frac{0.0111}{r_e}$$

$$\frac{r_e}{0.2} = e^{\left(0.0937 - \frac{0.00794}{r_e}\right)}$$

$$r_e = 0.243 \text{ m} \quad e = (r_e - r_i) = 0.043 \text{ m} = 4.3 \text{ cm}$$

El espesor de lana cerámica será de 2 pulgadas.

4.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CHIMENEA.

4.5.1 Velocidad de salida de los gases de combustión. [12]

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2gH(T_i - T_e)}{T_e}} \quad (25)$$

Donde:

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$ (aceleración de la gravedad)

$H = 0.6 \text{ m}$ (altura de la chimenea asumida)

$T_i = 553 \text{ }^\circ\text{K}$ Temperatura media absoluta de la base)

$T_e = 293 \text{ }^\circ\text{K}$ Temperatura exterior.

Reemplazando los valores en la ecuación (25)

$$\begin{aligned}\bar{v} &= \sqrt{\frac{2gH(T_i - T_e)}{T_e}} \\ \bar{v} &= \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 0.6 (553 - 293)}{293}} \\ \bar{v} &= 3.23 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Velocidades recomendadas en las chimeneas para hornos pequeños.

Resultado razonable según Thrinks. [13]

4.5.2 Diámetro de la chimenea

Entonces el flujo de los productos es:

$$\begin{aligned}\dot{V}_p &= \frac{m_p}{\delta_p} \\ \dot{V}_p &= \frac{24.94 \text{ Kg/h}}{1.22 \text{ Kg/m}^3} \\ \dot{V}_p &= 20.44 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}\tag{26}$$

A partir del gasto volumétrico.

$$\begin{aligned}\dot{V}_p &= \bar{v}A \\ A &= \frac{\dot{V}_p}{\bar{v}} = \frac{0.00568 \text{ m}^3/\text{s}}{3.95 \text{ m/s}} = 0.00175 \text{ m}^2 \\ d &= 0.057 \text{ m}\end{aligned}\tag{27}$$

Teniendo en la chimenea.

$d = 6 \text{ cm.}$

$L = 60 \text{ cm.}$

Como la combustión del GLP es próxima a ser completa, el uso de la chimenea en muchos de los casos no es necesario, pero si indispensable la evacuación de estos gases quemados a una adecuada velocidad.

4.6 DISEÑO DE LA ACOMETIDA DE GAS.

En la circulación de combustible se utilizará tubería de acero inoxidable para gas HIDRINOX de ½ pulgada, cuyas uniones son prensadas quedando un cierre hermético que soporta una presión máxima de 1200 psig (Anexo J), el

sistema funcionará conectado a cuatro cilindros de gas para garantizar la alimentación continua de combustible hacia los quemadores.

Es un sistema de unión por presión HHC (High Hydraulic Compression) que ejerce una bomba de 700 Kg/cm² sin roscas, soldadura o material de aporte. (Anexo K).

La instalación del sistema es sumamente fácil y segura no requiere de roscas, sueldas o pegamento alguno eliminando toda posibilidad de siniestro alguno debido a fugas en sus conexiones. (Anexo L). Para un mejor análisis le dividiremos al sistema en dos secciones:

4.6.1 Acometida desde la alimentación hasta el punto de distribución.

Es la sección donde se manejará la presión más alta del sistema, irá conectado secuencialmente de la siguiente forma:

- Cilindros de gas
- Válvulas de descarga
- Centralina de gas
- Manómetro
- Regulador de presión de 1ª etapa
- Válvula de cierre rápido (de globo)
- Filtro

- Regulador de presión de 2ª etapa
- Electroválvula de ½ pulgada

Todos los accesorios van conectados con tubería HIDRINOX y determinada sección con manguera flexible, con sus respectivos acoples como codos, tees, bushing, uniones y reducciones.

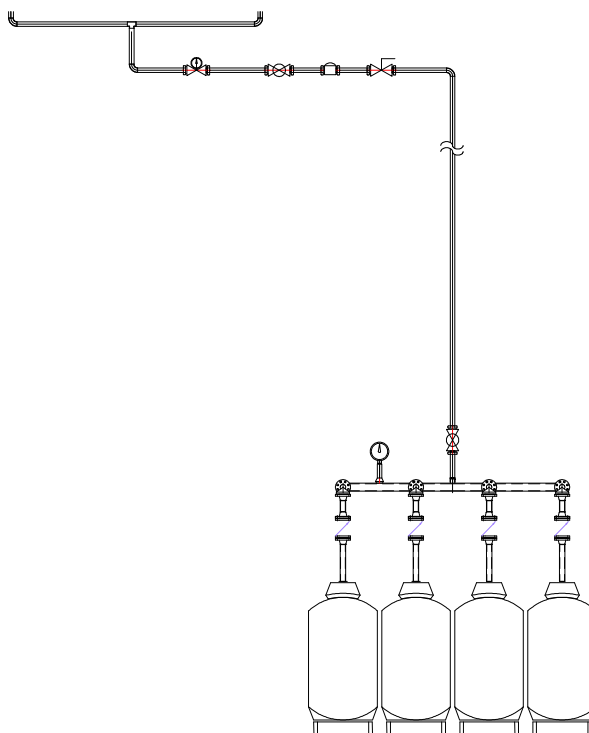


Figura 4.2: Acometida de Distribución de Gas hasta el Punto de Distribución.

4.6.2 Acometida desde el punto de distribución hasta los quemadores.

Esta sección es fundamental para las condiciones de funcionamiento ya establecidas, cada quemador va precedido por dos ramales, una de alta presión (mayor flujo de gas) y otra de baja presión (menor flujo de gas), esta última siempre permitirá el paso de combustible al sistema mientras que el ramal de alta presión se estará abriendo y cerrando para controlar la longitud de flama y por ende la temperatura a la que se quiera trabajar. Esta sección irá conectada secuencialmente de la siguiente forma (para cada quemador):

- Tee para la distribución

- Ramal de alta presión
Regulador de presión (presión máx. 15 lbs)
Electroválvula de ½ pulgada
- Ramal de baja presión
Regulador de presión (presión máx. 5 lbs)
Electroválvula de ¼ pulgada
- Tee para intersección de los ramales
- Manguera flexible
- Pulmón – Shiglor
- Quemadores

De igual forma los accesorios tendrán su respectivo acople, pero a diferencia de la sección anterior cada ramal debe ir acoplado con uniones universales que permitan un fácil montaje y desmontaje del sistema.

Para el piloto de encendido se realizará una toma en el ramal principal e irá seguido de un regulador de baja presión, cañería de cobre de ¼ de pulgada y por último el piloto que va ubicado entre los quemadores.

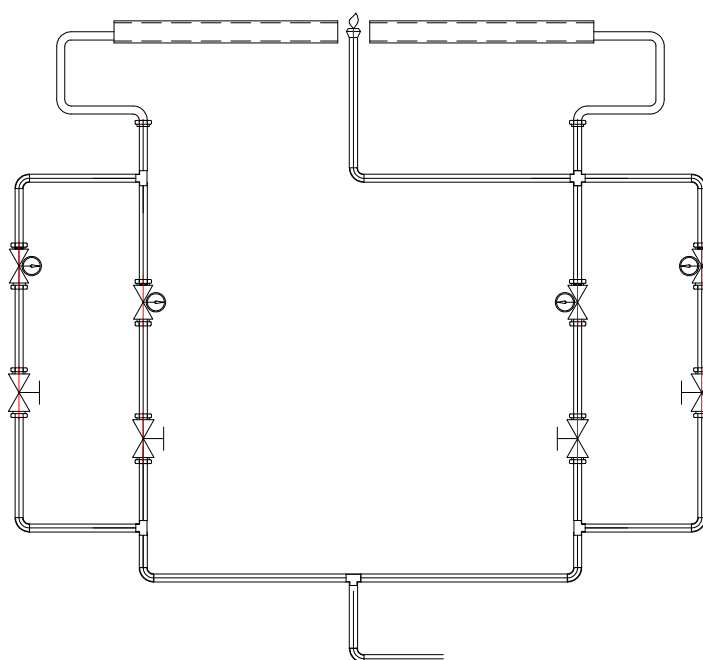


Figura 4.3: Acometida de Distribución de Gas hasta los Quemadores.

Los caños y accesorios están producidos bajo las normas más exigentes de calidad total del Japón JIS G 3448 y la JWA G 115, mientras que el sistema de prensado PRESS FIT se encuentra bajo las normas ASME B 31.9. (Anexo M).

4.7 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

La parte visible del sistema es el tablero de control, donde irán ubicados los controladores, botonera ON-OFF y focos de señalización que nos indicarán cuando hay cambio de longitud de flama o cuando hay ausencia de la misma.

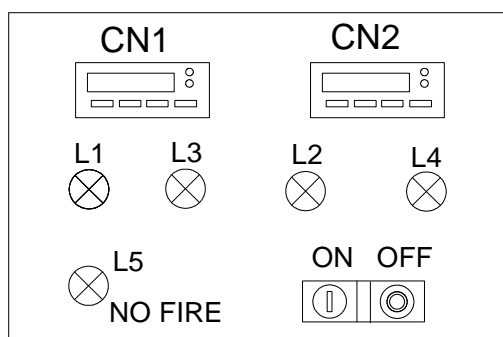


Figura 4.4: Tablero de Control.

El sistema eléctrico controla el proceso, activando y desactivando el flujo de gas una vez que se ha cumplido con ciertos parámetros de seguridad establecidos por el LGA.

Mediante la utilización del LGA controlamos las variables V1 y V2 que permite el paso y corte instantáneo del flujo de combustible hacia el sistema, mientras que la variable Z actúa como seguridad una vez que haya recibido alguna señal del electrodo de ionización, al activar o desactivar las variables antes mencionadas en caso de producirse un ambiente explosivo por ausencia de flama. (ANEXO N)

El electrodo de ionización es ubicado junto al piloto de encendido con la finalidad de que la flama sea proyectada en primera instancia hacia su sensor, el mismo que al recibir una señal calorífica, la transforma a eléctrica y es enviada al LGA. Para el arranque del sistema puenteamos al electrodo de

encendido en los terminales 11 y 8, una vez activado el LGA su circuito interno ordena la generación automática de una chispa eléctrica que junto al gas liberado por las electroválvulas produce la ignición del combustible, para la operación del electrodo de encendido es menester que esté antecedido por un pequeño transformador puesto a tierra propio del electrodo el mismo que entregará el amperaje preciso para la generación de la chispa.

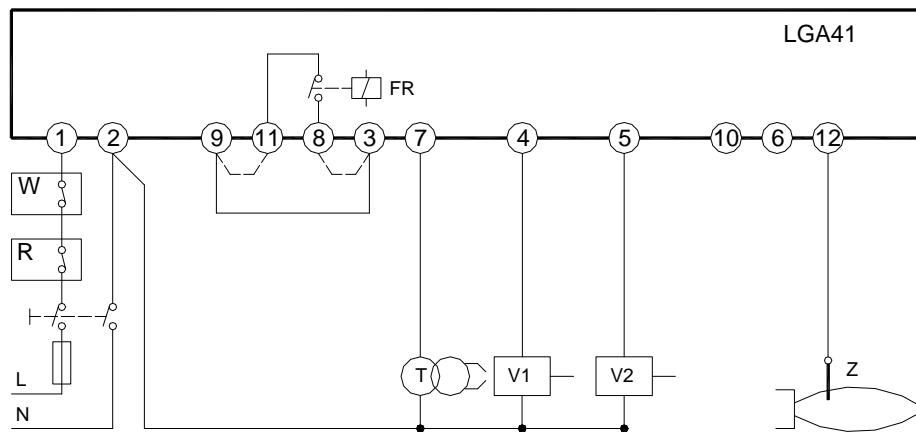


Figura 4.5: Diagrama del LGA.

A continuación se muestra el diagrama eléctrico del sistema, para luego detallar la secuencia del mismo y la función que cumple con cada señal enviada.

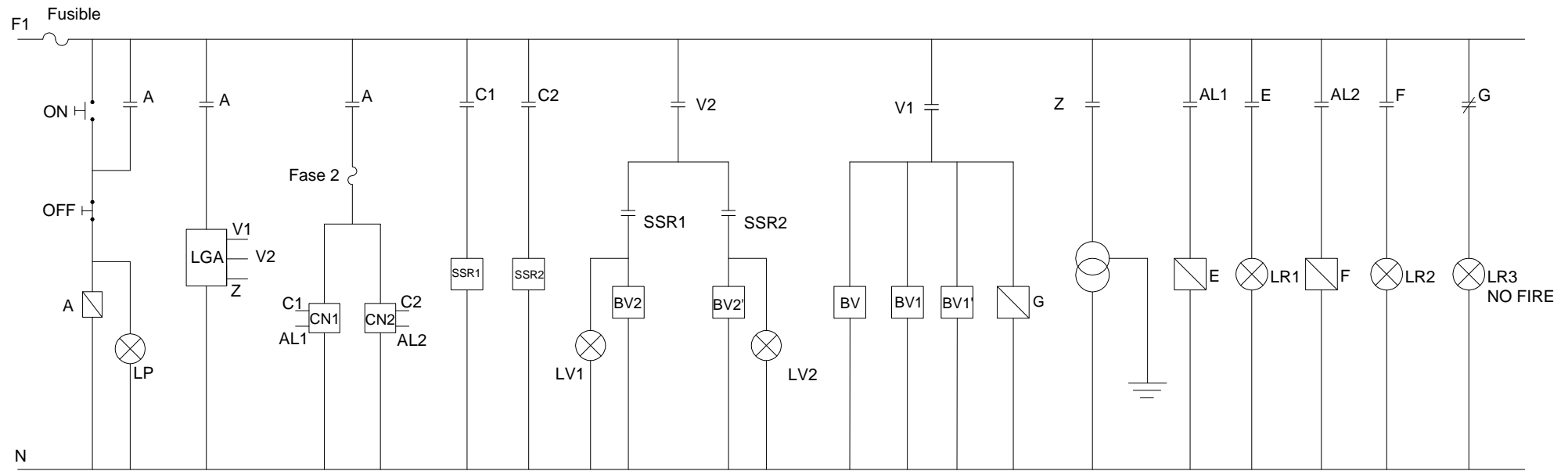


Figura 4.6: Diagrama del Sistema Eléctrico.

NOMENCLATURA DEL SISTEMA DE CONTROL

GAS BURNER CONTROL (LGA).

Z	Electrodo de ionización (sensor de flama)
V1	Contacto NO (para válvulas de gas)
V2	Contacto NO (para válvulas de gas de longitud de flama alta)
T	Transformador de ignición
FR	Electrodo de encendido (relay de flama)
W	Controlador de temperatura
T	Sensor de temperatura

SISTEMA ELÉCTRICO.

F1	Fase
N	Neutro
ON	Encender
OFF	Apagar
LP	Luz de encendido
A	Relay
CN	Controladores Watlow
BV	Electroválvula (Ramal principal)
BV 1	Electroválvulas de $\frac{1}{4}$ (flama baja)
BV 2	Electroválvulas de $\frac{1}{2}$ (flama alta)
SSR	Relays de estado sólido
LV1	Luz piloto (indica máx. Longitud de flama)
LV2	Luz piloto (indica máx. Longitud de flama)
LR1	Luz alarma (indica min. Longitud de flama)
LR2	Luz alarma (indica min. Longitud de flama)
LR3	Alarma (no FIRE)
E,F,G	Relays

CAPÍTULO 5

5. TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Una vez concluido y verificado el diseño del sistema de calentamiento procedemos a la construcción del mismo tomando como base los diferentes planos proyectados, la construcción del sistema consta de los siguientes procesos:

- Construcción mecánica
- Instalación de la acometida de gas
- Instalación eléctrica
- Montaje del sistema

5.1 CONSTRUCCIÓN MECÁNICA

En la construcción mecánica están presentes los principios y conocimientos técnicos básicos tales como la utilización de maquinas herramientas y selección adecuada de los tipos de sueldas. El proceso abarca una serie de operaciones secuenciales que se describen a continuación:

5.1.1 Trazado y Corte

Ubicadas las planchas de acero de 1/8 de pulgada sobre la mesa de trabajo procedemos a trazar en función de los planos proyectados, buscando siempre optimizar recursos o aminorar desperdicios de material. En esta operación generalmente se utiliza un flexómetro, rayador y una regleta de acero, para el rayado de las tapas laterales es indispensable el uso de un compás de acero.

Luego del trazado se procede al corte, por tratarse de un material de espesor relativamente grande para una cizalla común se ha optado por el sistema de corte a plasma lo que agiliza el proceso especialmente en trazos rectos, para las tapas laterales de la cámara que describe una sección circular el corte se lo

realiza en el torno con el fin de obtener una circunferencia perfecta a la medida del tubo de la extrusora.



Figura 5.1: Planchas de Acero.

5.1.2 Barolado.

Una vez cortadas las tapas superiores e inferiores se procede a barolar cada una de ellas desde un extremo hasta la señal de doblado, la curvatura dada a lo largo de las tapas interiores tanto superiores como inferiores tienen un radio de 200 mm mientras que para las tapas exteriores el radio mencionado es de 245 mm.

La baroladora utilizada es accionada por un motor con giro invertido, cuyos rodillos tienen un diámetro de 150 mm suficientes como para realizar trabajos en planchas de acero de 1/8 “.



Figura 5.2: Planchas Baroladas.

5.1.3 Taladrado

Corresponde específicamente al recuperador el cual debe ser perforado en las tapas superiores e inferiores para que atraviesen tubos de cobre de $\frac{1}{2}$ pulgada, por tratarse de agujeros considerables es necesario el uso de un taladro de banco. Por razones de tiempo y principalmente por precisión se optó por fijar las tapas paralelamente una sobre otra con puntos de solda, permitiendo así una perforación concéntrica con relación a cada una de las tapas.

Este proceso implica 28 perforaciones en las cuales se aplican cuatro brocas de diferente diámetro que van desde la menor hasta la de mayor diámetro. Debe considerarse una adecuada aplicación de las revoluciones del taladro, sabiendo que para brocas de menor diámetro se requiere altas revoluciones mientras que para brocas de mayor diámetro sus revoluciones son bajas.



Figura 5.3: Perforación de Agujeros.

5.1.4 Doblado

Con cada una de las piezas anteriormente trabajadas procedemos al doblado en las zonas que se requiera según los planos, tal es el caso de las tapas o paredes del horno, recuperador y campanas requeridas en la chimenea y para el acceso de aire precalentado del recuperador hacia la cámara de combustión. Debido al espesor considerable de la plancha se utilizó una dobladora neumática.



Figura 5.4: Tapas y Paredes del Horno.

5.1.5 Proceso de Soldadura

En primera instancia realizamos un ensamble por secciones: la cámara de combustión, recuperador y campanas; este proceso consiste en ubicar cada una de las piezas correspondientes y sujetarlas con puntos de suelda, los planos en tres dimensiones son la guía para el ensamble.



Figura 5.5: Ensamble de Piezas.

El proceso de suelda consiste en formar un cordón a lo largo de todas las uniones, como el material es de 3 mm. de espesor utilizamos electrodos de 1/8. El tipo de suelda utilizada depende del material a trabajar, en el sistema se ha requerido de los siguientes tipos de suelda:

5.1.5.1 Soldadura por Arco Metálico Protegido (SMAW).

La soldadura eléctrica es utilizada casi en todo el ensamble del sistema, siendo la forma más común de fusionar dos metales mediante un arco eléctrico que lleva instantáneamente al material al estado de fusión. En el proceso de soldadura aplicamos dos tipos de electrodos, para planchas de tol negro y de acero inoxidable.

En la parte interior conformada por planchas de acero inoxidable utilizamos electrodos R60 de 1/8, el tipo de soldadura es a tope con un amperaje comprendido entre 90 y 110 amperios.



Figura 5.6: Soldadura en Planchas de Acero inoxidable.

Las placas de tol negro que son utilizadas en las paredes exteriores del hogar y las campanas son soldadas en primera instancia con electrodos E6011, que presenta buena penetración y agarre. Se procede a esmerilar rebabas o cualquier otro defecto para finalmente soldar con electrodos E6013 que nos permite obtener un buen acabado superficial, el tipo de soldadura es a tope y en ángulo, el amperaje está comprendido entre 90 y 110 amperios.



Figura 5.7: Soldadura en Planchas de Tol Negro.

5.1.5.2 Soldadura Oxi-Gas

Este tipo de suelda es utilizado para la construcción del recuperador, el oxígeno combinado con el acetileno produce una flama de aproximadamente 3500 °C de temperatura lo que fundirá los materiales a unir, esta soldadura requiere de material de aporte y un fundente. Para fusionar planchas de acero con tubería de cobre de 1.5 mm de espesor utilizamos alambre de bronce de 1/8 como aporte y borax como fundente. El tipo de suelda es en ángulo por la facilidad de que presenta esta posición, primero se sueldan las placas interiores a 25 mm de los extremos de los tubos, colocamos el aislante en nuestro caso la lana cerámica y finalmente soldamos las placas exteriores a 3 mm de sus extremos. Para cerrar la cámara del recuperador aplicamos soldadura por arco con electrodos E6011.



Figura 5.8: Soldadura de los Tubos de Cobre.

5.1.6 Ensamble

Una vez soldadas cada una de las partes procedemos al ensamble, de este proceso obtenemos tres secciones que facilitan el montaje del sistema.

5.1.6.1 Sección 1

Constituida principalmente por la tapa inferior de la cámara de combustión, quemadores y campana. La cámara de combustión está constituida por una pared exterior (tol negro) y una interior (acero inoxidable) separada por lana cerámica de 2 pulg de espesor, las paredes son soldadas en ciertas zonas para formar un solo cuerpo compacto. Los quemadores son colocados uno en cada extremo, paralelos al cañón de la extrusora y a una altura prudencial que depende de la longitud de llama con el fin de evitar una radiación directa al cañón. En la campana inferior recoloca una guía seccionada que permita al desmontable.



Figura 5.9: Ensamble de la Sección 1.

5.1.6.2 Sección 2

Esta sección está constituida por la tapa superior de la cámara de combustión y el recuperador de calor, los mismos que son soldados interna y externamente para obtener un solo cuerpo. Las tapas la cámara presentan cejas que son taladradas cada 18 cm obteniendo nueve agujeros a cada lado que facilita el

ensamble de las mismas con pernos M18. Para producir un flujo forzado en el recuperador, empotramos un blower a la entrada, el cual está sujeto a regulaciones según la cantidad de aire requerida.



Figura 5.10: Ensamble de la Sección 2.

5.1.6.3 Sección 3

Esta última sección comprendida por la campana y chimenea tiene como unión una brida con su respectiva estrangulación para producir un tiro, la campana es acoplada al recuperador mediante pernos M12 cuyos agujeros han sido previamente roscados mediante la aplicación de machuelos rosca gruesa.



Figura 5.11: Ensamble de la Sección 3.

5.2 INSTALACIÓN DE LA ACOMETIDA DE GAS.

Para la acometida de gas partimos de la instalación de la centralina que va empotrada al exterior de la pared por motivos de seguridad, las instalaciones siguientes de accesorios se rigen a planos antes proyectados.

Instrumentos como electroválvulas, reguladores, filtros o válvulas de cierre son roscados siendo necesario el uso de teflón y uniones con rosca o mixtas (rosca – o ring), mientras que en la instalación de tuberías hidrinox utilizamos un sistema de prensado que cierra herméticamente la unión evitando cualquier fuga de gas y principalmente aligerando el proceso de instalación. (Anexo L)

En la instalación colocamos juntas universales roscadas en cada ramal para su mantenimiento.

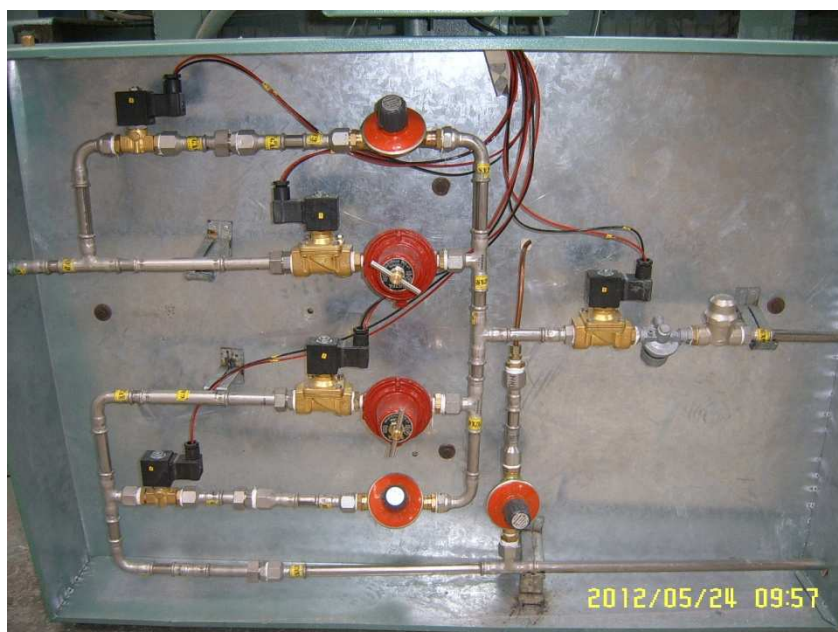


Figura 5.12: Acometida de Gas.

El sistema de prensado utiliza una bomba hidráulica de pistón conectada a una mordaza que presiona al o-ring ubicado entre las tuberías, para verificar un sellado adecuado aplicamos galgas calibradas según el diámetro de tubería.



Figura 5.13: Bomba Hidráulica.

Para la ubicación de los cilindros de gas se construyó una caseta de estructura metálica y planchas de asbesto, que sirve como soporte para los cilindros a más de manteniéndolos en ambiente fresco y aislado de factores propensos a accidentes.



Figura 5.14: Caseta para Almacenamiento de Cilindros de Gas.

5.3 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Para la instalación nos basamos específicamente en el diagrama eléctrico claramente determinado, como elemento de enlace utilizamos cable #8 y borneras para enlazar la fase con el neutro.

Primeramente realizamos la toma de 110 V desde el tablero principal de la planta hacia el tablero de control del sistema tomando todas las medidas de seguridad como cableado por zonas no expuestas a accidentes caso contrario usamos tubo flexible de protección. Proseguimos a ubicar y asegurar todos los instrumentos que intervienen en el control tanto visibles (controladores, LGA, focos de señalización y botonera) como los ubicados sobre rieles dentro del tablero (fusibles, contactor, relés, transformador, etc.).

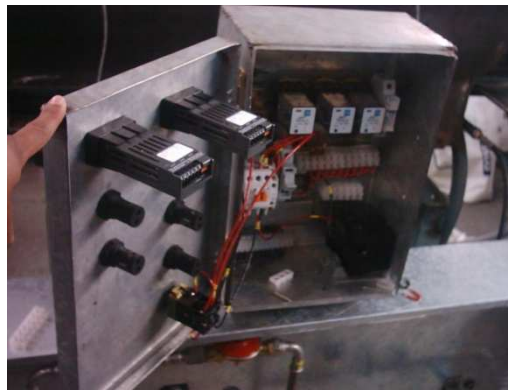


Figura 5.15: Colocación de Instrumentos en el Panel de Control.

Finalmente realizamos el cableado en el cual seguimos el orden del diagrama proyectado sin obviar cada entrada y salida de los instrumentos como es el caso de los controladores, contactores, LGA (anexo z) o el uso adecuado de contactos NO o NC particularmente en los relés.

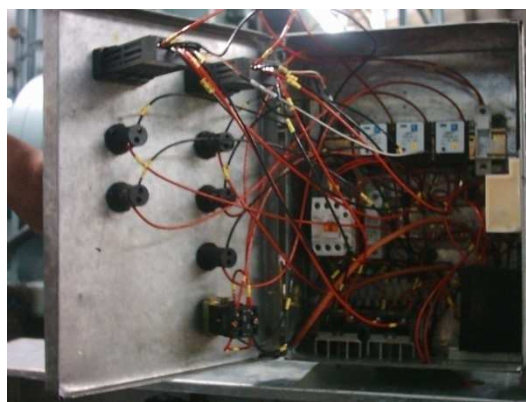


Figura 5.16: Cableado y Unión de los Instrumentos de control.

5.4 MONTAJE DEL SISTEMA

Se ha considerado la necesidad de que exista una permisión de montaje y desmontaje del sistema ya sea por motivos de mantenimiento o reemplazo.

Para el montaje de la cámara de combustión fue necesario cortar la bancada de la extrusora en un lado y abrir una cavidad suficiente para centrar los quemadores con el cilindro a calentar. La sección cortada sobrante es reinstalada a la bancada para que sirva soporte mediante pernos M16, una vez montada la sección inferior de la cámara ubicamos la parte superior la misma que también es sujeta por pernos y el mismo proceso de montaje lo hacemos con la chimenea.



Figura 5.17: Chimenea.

La instalación del sistema a gas está constituida de una parte fija y una móvil, esta última parte está sobre un soporte metálico cuya base de 10X15 cm es sujeta por pernos soldados a una placa empotrada al concreto. El tablero de control va en la parte superior de la distribución de gas también sujeto mediante pernos al soporte.

Como la entrada de gas hacia la zona de distribución y la salida para los quemadores se utiliza manguera flexible se facilita el montaje y desmontaje del tablero.



Figura 5.18: Instalación del Sistema a Gas.

Una vez que se ha finalizado el montaje y revisado sus instalaciones, el sistema será sometido a las pruebas respectivas para su posterior funcionamiento.



Figura 5.19: Sistema Completo de Calentamiento a Gas.

5.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.5.1 MANUAL DE OPERACIÓN

Verificar que el equipo este soportado y tener en cuenta que la alimentación eléctrica al sistema son de 110V.

Abrir las válvulas de descarga de los tanques de GLP hacia la centralina o colector del sistema y verifique que el manómetro marque entre 2 y 2,5 bares para garantizar el flujo de combustible hacia el sistema.

Accionar el precalentador para dar al sistema el aire necesario para una buena combustión, posteriormente el aire ingresará a la cámara de combustión a la temperatura deseada.

Arrancar el sistema pulsando ON (botón verde), los quemadores deberá arrancar con una presión baja y al transcurrir 5 segundos entrará en funcionamiento el by-pass de mayor presión.

Transcurrido dos horas aproximadamente y una vez verificado mediante las termocuplas que el polipropileno haya alcanzado la temperatura de fusión arrancar el sistema de Extrusión.

En caso de ausencia repentina de flama en los quemadores, detener el sistema de extrusión y volver a arrancar el sistema de calentamiento transcurrido 1 minuto, durante ese período el LGA se desmagnetizara para repetir el proceso de apertura de electroválvulas y encendido de quemadores mediante una chispa producida por el electrodo.

5.5.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Toda máquina o equipo requiere de mantenimiento ya sea en sus elementos mecánicos o eléctricos debido a que están sujetos a un proceso de envejecimiento o desgaste provocando disminución en su eficiencia.

Con el objeto de precautelar el normal funcionamiento del sistema se opta por un mantenimiento preventivo el mismo que se lo debe realizar en forma diaria y semanal considerando que el equipo funciona durante 5 días las 24 horas.

Inspección Diaria

- Cada cambio de turno verifique la presión en manómetros para cambio de cilindros de combustible si así lo requiere el sistema.
- Verificación de flama de calentamiento adecuada.

Inspección Semanal

- Limpieza General
- Chequeo general del sistema, en caso de requerirse cambios de accesorios en el sistema de distribución de gas realizar el desmontaje a través de las uniones universales ubicadas en cada línea de flujo.

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En la evaluación de un proyecto es primordial realizar un adecuado análisis económico con la finalidad de lograr una presentación atractiva que justifique y viabilice el mismo.

La implementación del sistema de calentamiento a gas en las líneas de producción de techo translucido TECHOLUZ busca a más de un ahorro energético mediante la implementación del recuperador del aire de combustión, disminuir los costos de producción por las diferencias económicas existentes entre la energía eléctrica y la de hidrocarburos, en nuestro caso el GLP. Pero este ahorro probable debe ir acorde con el tiempo de recuperación de la inversión y los beneficios esperados durante la vida útil del sistema.

6.1 DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

La determinación de costos es cuantificar el capital total de inversión en el sistema de calentamiento, teniendo en consideración los factores tangibles (materia prima) e intangibles (trabajo intelectual y mano de obra) necesarios para su desarrollo.

En términos económicos los costos de construcción están dados en función de tres parámetros: Materia Prima Directa, Mano de Obra Directa y Costos Indirectos, los mismos que se detallan a continuación [13]:

6.1.1 Materia Prima Directa (MPD)

Es la inversión realizada en la adquisición de material específicamente para la construcción del sistema de calentamiento, para la determinación de costos se ha dividido a la inversión en tres secciones:

- Costos de materiales para el horno industrial
- Costos de materiales para acometida del sistema de gas
- Costos de materiales para el sistema de control

6.1.1.1 Costos de materiales para el horno industrial

En estos costos están contemplados los materiales adquiridos para la cámara de combustión, recuperador de calor y chimenea. La tabla inferior muestra cada material con su respectivo costo.

Tabla 6.1: DATOS DE MATERIALES Y COSTOS PARA EL HORNO INDUSTRIAL

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL (USD)
Plancha de Tol Negro 1/8"	2	64	128
Plancha de Acero Inox 1/8"	1	100,6	100,6
Lana Cerámica 700X50X2.5	1	54	54
Tubo de cobre 1/2 " (m)	7	9,6	67,2
Tubo de poste 3" (m)	1,5	4,8	7,2
TOTAL			357

Para el horno industrial es necesario también la implementación de equipos que intervienen directamente en su funcionamiento, siendo los principales:

Tabla 6.2: EQUIPOS PARA EL HORNO INDUSTRIAL.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL (USD)
Quemador Industrial 45X8	2	60	120
Blower 2"	1	35	35
TOTAL			155

6.1.1.2 Costos de materiales para acometida de gas

La determinación de costos debido a la acometida de gas abarca accesorios, uniones, instrumentos que están ubicados a lo largo de la acometida desde los tanques de alimentación hasta los quemadores.

Tabla 6.3: LISTADO DE MATERIALES PARA LA ACOMETIDA DE GAS.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL (USD)
Centralina para gas / 4 valvulas	1	234	234
Valvulas de vaciado de tanques	4	11	44
Valvulas de cierre rápido	2	13	26
Valvula reguladora de pres. 1 etp	1	41,6	41,6
Valvula reguladora de pres. 2 etp	1	36,4	36,4
Valvulas reguladoras de presión	5	35,2	176
Metros de cañería de cobre	5	6,24	31,2
Quemador de llama piloto	1	15	15
Electrodo de encendido tipo ind	1	90	90
Electrovalvulas de gas 1/2"-110V	5	97	485
Filtro para gas 1/2"	1	14,75	14,75
Tub rosca macho HIDRINOX 1/2"	6	4,57	27,42
Tub rosca hembra HIDRINOX 1/2"	5	4,44	22,2
Tee HIDRINOX 1/2"	5	4,87	24,35
Codo HIDRINOX 90° 1/2"	2	3,14	6,28
Te rosca central hembra 1/2"	1	6,7	6,7
Codo rosca hembra 1/2"	4	4,39	17,56
Reducción de cobre de 1/2"-1/4"	8	3,19	25,52
Reducción de cobre de 1/2"-3/8"	4	3,19	12,76
Bushing de cobre de 1/2"-1/4"	4	3,41	13,64
Metros de tubería acero inox 1/2"	15	3,5	52,5
Metros de manguera alta T/P	2	10	20
TOTAL			1422,88

6.1.1.3 Costos de materiales para el sistema de control

Estos costos corresponden específicamente a la parte eléctrica cuyos principales componentes van ubicados en el tablero de control, mismo que se detallan a continuación:

Tabla 6.4: LISTADO DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE CONTROL.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL (USD)
Controlador temp. Watlow 503	2	240,00	480,00
Termocupla tipo J	2	45,00	90,00
Control para gas LANDIS / LGA	1	182,32	182,32
Metros de cable alta temper.	2	4,40	8,80
Sensor de llama	1	42,75	42,75
Bases para relay 8 pines	5	1,97	9,85
Transformador para electr. enc	1	58,00	58,00
Relays para 4 amp/ 8 pines	3	8,00	24,00
Relays de estado sólido 10 Amp.	2	31,14	62,28
Metros de cable #16	40	0,50	20,00
Contactor LG 10 Amp	1	20,00	20,00
Pulsador doble ON/OFF lamp	1	11,75	11,75
Luz Piloto rojo/verde	5	4,00	20,00
Metros de espageti protctor	6	0,50	3,00
Borneras para cable #16	4	0,80	3,20
Portafusibles para riel	2	2,00	4,00
Fusibles rápidos	2	2,00	4,00
TOTAL			1043,95

La inversión total de MPD se detalla a continuación:

Tabla 6.5: MATERIA PRIMA DIRECTA

DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (USD)
Horno Industrial	512
Acometida de gas	1422,88
Sistema de Control	1043,95
TOTAL	2978,83

6.1.2 Mano de Obra Directa (MOD)

Estos costos se refieren a la mano de obra que incide directamente en el proceso de construcción como son: en el jefe encargado de la obra, maestros mecánicos y ayudantes. Legalmente no existe una ley que determine cierto monto de remuneración para este tipo de trabajo, siendo lo más común proceder en base a acuerdos entre contratista y beneficiario.

Según experiencias de diferentes profesionales el monto debido a la mano de obra directa fluctúa entre el 20 y 25% de los costos de inversión de la MPD,

misma que será distribuida previo acuerdo entre el jefe de obra (contratista) y sus subalternos.

Sabiendo que la inversión de materia prima directa es 2978.83 USD y los costos indirectos representan un gasto adicional, se tomará como referencia el 25% de inversión de MPD.

Tabla 6.6: MANO DE OBRA DIRECTA.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	% MPD	SUBTOTAL (USD)
Jefe de Obra (Ing. encargado)	1	18	536,19
Maestro mecánico	1	5	148,94
Ayudante de obra	1	2	59,58
TOTAL		25	744,71

6.1.3 Costos Indirectos (CI)

Los costos indirectos corresponden a todos los gastos realizados que no intervienen específicamente en el presupuesto para materia prima y mano de obra directa. Entre estos gastos se les puede considerar a la transportación, investigación y materia prima indirecta.

Se debe considerar que los precios mostrados son estimativos por la dificultad que representa detallar la cantidad exacta utilizada en el proceso de construcción.

Tabla 6.7: COSTOS INDIRECTOS.

DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (USD)
Materia Prima Indirecta	70
Transporte	80
Investigación	30
TOTAL	180

La materia prima indirecta se refiere a materiales tales como electrodos, pernos, perfiles metálicos para soportes, discos de corte, de amolar, gratas, entre otros; que a más de tener un costo relativamente bajo son utilizados también en otros procesos de construcción.

Los gastos de transporte pueden ser por motivo de movilización del personal de trabajo o de determinadas partes del sistema de calentamiento siempre que se requiera realizar un trabajo específico.

Para el proceso de investigación se requiere ciertos gastos que se contemplan en el uso de Internet, adquisición de bibliografía o accesorios necesarios para el proceso de ingeniería.

6.2 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Para el análisis de costos del sistema de calentamiento se considera el porcentaje de inversión en cada una de las secciones de MPD, MOD y CI con la finalidad de diferenciar los gastos representativos y sugerir la adición o cambio de procesos e incluso materiales para su construcción. En la siguiente tabla se observa la inversión parcial y total con sus respectivos porcentajes.

Tabla 6.8: INVERSIÓN TOTAL DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO A GAS.

DESCR. GENERAL	DESC. ESPECIFICAS	INV (USD)	% INV	INV. TOT	% INV T
Materia Prima Directa	Horno Industrial	512,00	17,19	2978,83	76,31
	Acometida de Gas	1422,88	47,77		
	Sistema de Control	1043,95	35,05		
Mano de Obra Directa	Jefe de obra (Ing e)	536,19	72,00	744,71	19,08
	Maestro Mecánico	148,94	20,00		
	Ayudante	59,58	8,00		
Costos Indirectos	Materia Prima Indirecta	70,00	38,89	180,00	4,61
	Transporte	80,00	44,44		
	Investigación	30,00	16,67		
TOTAL				3903,54	100

Determinados los costos de producción nos damos cuenta de la inversión que representa cada una de las secciones, siendo el control y la acometida de gas la inversión más representativa de todo el sistema de calentamiento ya que se ha utilizado instrumentación Americana e italiana que brinda garantías de funcionamiento a más de su prolongada vida útil.

La utilización de este tipo de instrumentos podría ser opcional por la existencia de diferentes casas fabricantes que brindan una amplia gama de precios pudiendo llegar a representar la tercera parte de la inversión realizada en la parte eléctrica como es el caso de accesorios Taiwaneses, pero que no ofrecen muchas garantías.

6.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

El análisis costo - beneficio es muy usado para evaluar proyectos y obtener distintas opciones para mejorar ya sea en técnicas del proceso productivo o para bajar costos de producción sin alterar la cantidad y calidad del bien.

Para realizar esta evaluación es necesario realizar primero un análisis de costos de energía entre los dos sistemas planteados y posteriormente el análisis costo – beneficio que justificaría la inversión realizada.

6.3.1 Análisis Costos de Energía

En este análisis se procede a definir el consumo de energía aplicando los métodos necesarios para cada sistema y posteriormente determinar el costo de dicho consumo que generalmente se lo analiza por años.

6.3.1.1 Sistema con Resistencias Eléctricas.

Trata del sistema de calentamiento original cuya fuente de energía es la eléctrica, nueve resistencias que circundan y proveen calor sobre el cañón funden al polipropileno que atraviesa por el mismo.

Datos técnicos de las resistencias:

Voltaje = 220 V

Potencia = 1.8 KW

Resist = 9

Cálculos:

$$Pot = I \times V$$

$$I = \frac{Pot}{V} = \frac{1800W}{220V} =$$

$$= \underline{8.182 \text{ Amp}}$$

$$Pot_{(total)} = Pot \times \#resist$$

$$Pot_{(total)} = 1.8 \text{ KW} \times 9 =$$

$$= \underline{16.2 \text{ KW}}$$

Consumo de energía [KW-h]

$$\text{Consumo} = (Pot_{(total)} \times tiempo)$$

Tabla 6.9: DATOS DE CONSUMO DE ENERGÍA (KW-h)

CONSUMO DE ENERGIA (KW-h)		
CONSUMO / HORA	CONSUMO / 12 HORAS	CONSUMO / SEMANAL (DEM HORARIA)
16,20	194,40	972,00

Cargos Tarifarios [USD]

$$CT = Consumo \times Costo \text{ de Energía}$$

Demanda Horaria:

{	DH 1	07h00-22h00	0.072 USD/KW-h
	DH 2	22h00-07h00	0.058 USD/KW-h (ANEXO G)

Tabla 6.10: DATOS DE CARGOS TARIFARIOS.

	CT / HORA	CT / 12 HORAS	CT / SEMANA
DH 1	1,17	14,00	69,98
DH 2	0,94	11,28	56,38

$$Tarifa\ Semanal = DH1 + DH2$$

$$\begin{aligned} Tarifa\ Semanal &= (70.00 + 56.38) USD \\ &= 126.38 USD \end{aligned}$$

Es lo más razonable que la producción depende de la demanda del producto sin ser el techo translucido una excepción, pero debemos considerar que normalmente de cada tres semanas, dos son de producción y una de mantenimiento, durante todo el año.

Por tratarse de una empresa privada asumimos 51 semanas laborables de las 52.14 que presenta el año y tenemos el siguiente número de semanas de producción:

$$producción / año = 51 \text{ sem lab} \times \frac{2 \text{ sem prod}}{3 \text{ sem lab}} = 34 \text{ semanas}$$

La tarifa anual de energía eléctrica es:

$$\begin{aligned} Tarifa\ Anual &= (34 \times 126.38) USD \\ &= 4296.92 USD \end{aligned}$$

6.3.1.2 Sistema con GLP.

Sistema alternativo de calentamiento con gas licuado de petróleo, que emplea el cuatro bombonas de gas precautelando la alimentación continua de combustible hacia el sistema.

Datos técnicos del sistema:

$$\text{Cilindro de gas} = 15 \text{ Kg.}$$

Costo cilindro = 1.6 USD

Cálculos:

Por tratarse de quemadores industriales que trabajan con presiones relativamente altas asumimos que abra una quinta parte de combustible remanente en el cilindro, tratándose de una situación desfavorable que aumentaría el costo de kilogramo de GLP.

$$\text{Consumo del cilindro en el sistema} = 15 \text{ Kg} \times \frac{4}{5} = 12 \text{ Kg}$$

$$\text{Costo - Kg} = \frac{1.6 \text{ USD}}{12 \text{ Kg}} = 0.133 \frac{\text{USD}}{\text{Kg}}$$

Consumo de combustible [Kg. /h]:

En el consumo de combustible analizamos el caso más crítico; que es cuando entra en funcionamiento la electroválvula que permite alcanzar la longitud de llama más alta, es decir cuando hay el máximo flujo de combustible al sistema.

Experimentalmente se ha podido tabular los siguientes datos:

Tabla 6.11: DATOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Pruebas	Kg/h
1	1,20
2	1,35
3	1,15
Promedio	1,23

Potencia del sistema:

$$Pot_{(total)} = \dot{m}_c \times Hci$$

Donde:

$Pot_{(total)}$ = Potencia dada al sistema en [Kcal/h]

\dot{m}_c = Gasto másico de combustible en [Kg_c/h]

Hci = Poder calórico del GLP en [Kcal/Kg_c]

$$Pot_{(total)} = 1.23 \frac{Kg_c}{h} \times 10986.62 \frac{Kcal}{Kg_c} = 13513.54 \frac{Kcal}{h}$$

$$Pot_{(total)} = 15.8 \text{ KW}$$

Costo de consumo de combustible [USD]:

Experimental y teóricamente se ha determinado que el sistema consume un promedio de 1.23 kilogramos de combustible en una hora y sabiendo que el costo aproximado es de 0.133 USD por kilogramo, presentamos las siguientes tarifas:

Tabla 6.12: COSTOS DE COMBUSTIBLE.

POR HORA	DÍA	SEMANA
0,16	3,93	19,63

$$Gasto \text{ Semanal} = 19.63 \text{ USD}$$

Como se manifestó anteriormente de las 51 semanas laborables al año 34 corresponden a las semanas de producción, teniendo el siguiente gasto de combustible anual:

$$Tarifa \text{ Anual} = (34 \times 19.63) \text{ USD}$$

$$= 667.42 \text{ USD}$$

6.3.2 Relación de Costos entre el Sistema Eléctrico y el Sistema De Gas.

El análisis de costos entre ambos sistemas se lo realiza en forma anual tomando en consideración que la producción permanece constante de lunes a viernes durante las 24 horas.

Tarifa Electrica Anual = 4296.92 USD

Tarifa de Gas Anual = 667.42 USD

$$i = \frac{\textit{Tarifa Electrica}}{\textit{Tarifa de Gas}}$$

$$i = \frac{4296.92}{667.42}$$

$$i = 6.43$$

Es decir, con resistencias eléctricas se estaría gastando aproximadamente 6.5 veces más del gasto producido por el combustible gasificado (GLP).

CAPÍTULO 7

7. PRUEBAS

Concluido en montaje y verificado las instalaciones procedemos a realizar las correspondientes pruebas de funcionamiento del sistema sobre las dos terceras partes de la extrusora (zonas de alimentación y compresión), a partir de dichas pruebas se busca calibrar al equipo con el flujo adecuado de combustible y abastecer la potencia requerida para obtener una contextura optima del material para el conformado de planchas de polipropileno.

CALIBRACIÓN DE LAS VÁLVULAS REGULADORAS.

Los datos de placa que poseen estos reguladores son los siguientes:

Tabla 7.1: DATOS DE PLACA DE REGULADORES
DE BAJA PRESIÓN.

Presión de entrada	Presión de salida	Nivel de Seteo
bar	mm. Bar	Escala
1 a 16	20 a 300	1 a 10

Tabla 7.2: DATOS DE PLACA DE REGULADORES
DE ALTA PRESIÓN

Presión de entrada	Presión de salida
psig	psig
250	1 a 15

Luego de haber realizado previas pruebas acerca de la longitud de flama y la potencia aportada, se ha determinado que la escala de regulación más adecuada para las válvulas de baja presión es el nivel 8, el cual nos indica que

la presión que se está aportando es de 237.78 mm. bar . o 3.38 psi. Mientras que para la válvula reguladora de alta presión es de 13 psig. Estos valores podrían variar dependiendo de la textura que el material adquiera.

Para conocer su eficiencia del sistema realizamos las correspondientes pruebas de la forma siguiente:

- a. Pruebas en vacío.
- b. Pruebas a carga.
- c. Pruebas volumétricas

7.1 PRUEBAS EN VACÍO.

La prueba en vacío se realiza para determinar la potencia de trabajo requerida para el adecuado calentamiento de la extrusora y el lapso necesario para llegar a dicha potencia. Como la potencia viene dada en función de la temperatura, en este tipo de pruebas manejamos como parámetros fundamentales la temperatura y el incremento de la misma con respecto al tiempo.

Tomando en consideración el sistema original (con resistencias eléctricas), los controladores son seteados inicialmente a 300°C, cuyo valor puede variar dependiendo de la consistencia que adquiera el material buscando la temperatura más adecuada para evitar destruir las cadenas de carbono del polipropileno (quemar) o a su vez obtener un material crudo.

7.1.1 Pruebas en Vacío sin Recuperador.

En esta prueba el aire de combustión en su totalidad es tomado del ambiente, sabiendo que Riobamba presenta una temperatura ambiente promedio de 16 °C.

**Tabla 7.3: DATOS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA
CON RESPECTO AL TIEMPO
SIN RECUPERADOR**

TIEMPO	QUEMADOR 1	QUEMADOR 2
min.	T °C	T °C
2	62	51
4	70	60
6	74	66
8	78	72
10	81	77
12	86	83
14	89	87
16	93	92
18	97	97
20	98	103
22	99	105
24	104	112
26	108	117
28	113	122
31	121	128
34	128	135
37	135	143
40	141	151
43	148	158
47	155	169
51	165	179
55	173	188
59	182	198
63	190	207
67	197	215
71	204	223
75	211	231
79	218	238
83	224	246
87	231	254
91	237	260
95	244	268
99	250	274
103	256	281
107	263	288
111	269	295
115	275	301
119	281	304
123	286	307
127	291	310
131	297	313
135	301	315

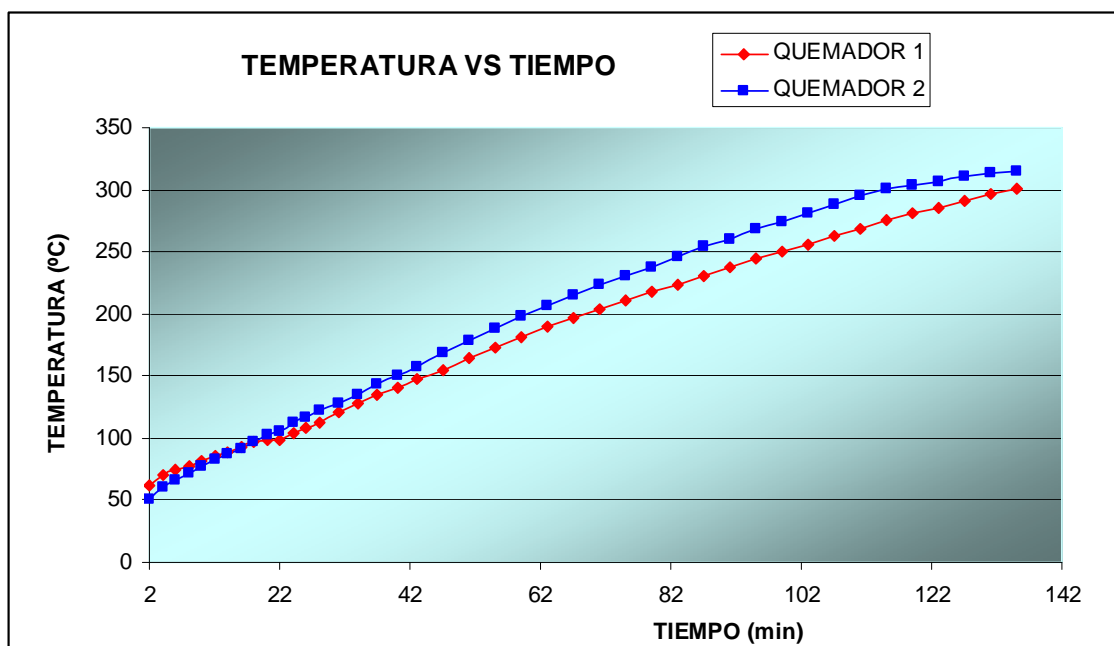


Figura 7.1: Incremento de temperatura con respecto al tiempo.

7.1.1 Pruebas en Vacío con Recuperador.

Mientras que para esta prueba se busca controlar parte de consumo de aire de combustión el mismo que es transportado desde el Recuperador hasta la campana de ingreso a la cámara mediante manguera flexible para alta temperatura de 3 pulg. El aire caliente aportado presenta un incremento de temperatura hasta que en la cámara se llegue a la temperatura determinada por el controlador y esta permanezca relativamente constante.

Tabla 7.4: DATOS DE INCREMENTO DE TEMPERATURA
CON RESPECTO AL TIEMPO
CON RECUPERADOR.

TIEMPO	QUEMADOR 1	QUEMADOR 2
min.	T °C	T °C
2	32	30
4	53	45
6	61	56
8	66	61
10	70	68
12	73	69
14	77	73
16	80	77
18	84	83
20	87	87
22	91	92
24	95	97
26	99	102
28	102	107
30	106	112
32	110	117
34	114	123
37	119	130
40	125	138
43	131	147
46	136	154
49	142	162
52	148	169
55	156	177
58	163	184
61	168	188
64	174	195
67	183	204
70	192	213
73	201	221
76	208	229
79	215	237
82	223	244
85	231	252
88	236	258
91	243	266
94	251	272
97	260	279
100	265	285
103	270	291
106	276	298
109	284	305
112	294	310
115	300	311

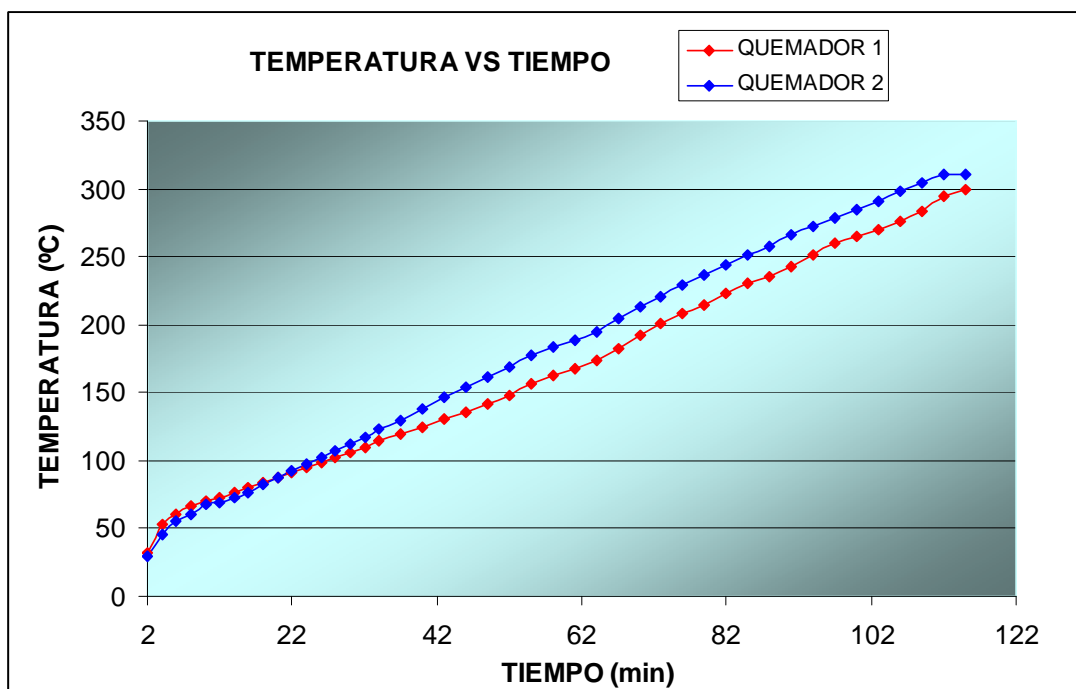


Figura 7.2: Incremento de temperatura con respecto al tiempo.

Al realizar las pruebas en vacío con y sin recuperador, se puede deducir que con el uso del recuperador, el tiempo que se tarda en alcanzar la temperatura seteada inicialmente es menor con 20 minutos, produciendo un ahorro de combustible en el desarrollo del proceso de fabricación de planchas.

7.2 PRUEBAS A CARGA.

Una vez realizada la prueba en vacío se procede a aplicar la carga, en esta etapa se procede a nuevas pruebas con la finalidad de mantener el calor constante en el tubo. Para esta operación es necesario poner en funcionamiento todo el sistema de calentamiento del equipo es decir el sistema de gas y el eléctrico, normalmente el sistema eléctrico es encendido dos horas y media a tres antes arrancar la maquina con el objeto de obtener fluidez en el material y proteger al motor de sobrecargas.

Es fundamental procurar mantener una temperatura casi constante durante todo el proceso, siendo esta la parte la más critica por el cambio brusco de temperatura producido cuando extrae calor el polímero durante su paso a través de cámara de combustión, para lograr este objetivo el diferencial del controlador será seteado a 1°C permitiendo la activación y desactivación de la electroválvula de mayor capacidad para cada quemador, igualmente se regulará la longitud de flama en forma manual mediante el cierre o apertura de reguladores instalados para cada quemador, de esta forma se buscaría controlar la inercia térmica del sistema.

En primera instancia se realiza la prueba sin la intervención del recuperador durante el proceso con el objeto de determinar la variación de la inercia térmica.

7.2.1 Pruebas a carga sin recuperador

Durante esta prueba todo el aire de combustión utilizado se encuentra a temperatura ambiente y es absorbido a través de la ventolera ubicada en el extremo inicial el quemador y la abertura inferior de la cámara de combustión.

Tabla 7.5: DATOS DE PERÍODOS DE MUESTREO DE LOS DOS
QUEMADORES

Inercia Térmica del Proceso	
Tiempo (min)	Temperatura Quemador 1 (°C)
135	302
140	312
145	306
150	299
155	293
160	286
165	280
170	275
175	270
180	266
185	262
190	257
195	253
200	249
205	245
210	241
215	238
220	235
225	233
230	230
235	228
240	224
245	222
250	220
255	219
260	218
265	217
270	216
275	216
280	215
285	214
290	213
295	212
300	210
305	210
310	209
315	208
320	207

Inercia Térmica del Proceso	
Tiempo (min)	Temperatura Quemador 2 (°C)
135	314
140	318
145	314
150	309
155	303
160	298
165	294
170	288
175	284
180	279
185	273
190	269
195	265
200	260
205	256
210	252
215	248
220	245
225	241
230	238
235	235
240	233
245	231
250	228
255	226
260	224
265	223
270	222
275	221
280	221
285	220
290	219
295	218
300	218
305	217
310	216
315	216
320	215

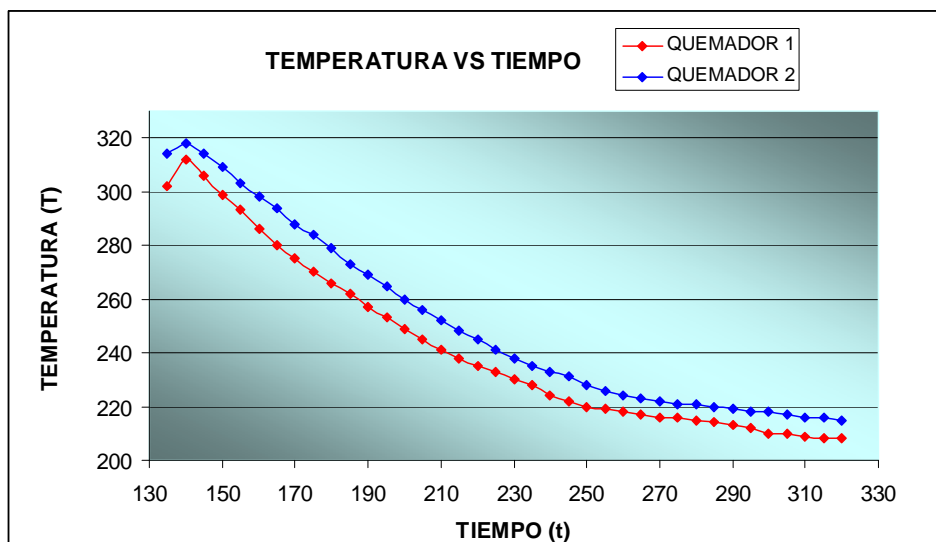


Figura 7.3: Períodos de Muestreo de Quemadores sin Recuperador.

7.2.2 Pruebas a carga con recuperador

Teórica y prácticamente es conocido que el ingreso de aire frío contribuye a los cambios bruscos mencionados anteriormente, por lo que el recuperador inyectará aire caliente a la cámara supliendo parte del comburente requerido para la adecuada combustión y optimizar el calentamiento.

Características del recuperador

Tabla 7.6: DATOS DE VELOCIDAD DEL AIRE GENERADA POR EL BLOWER.

Abertura del blower	Velocidad Salida del Recuperador (m/s)	Velocidad Ingreso de la Campana (m/s)	Temperatura Ingreso de la Campana (°C)
Totalmente cerrado	6,3	4,9	93,5
Abierto a la mitad	9,4	7,5	91
Totalmente abierto	10,8	8,6	89,7

Una vez regulado el recuperador con el flujo de aire adecuado para la combustión, el aire caliente a 94°C. es inyectado a la cámara.

Tabla 7.7 DATOS DE PERÍODOS DE MUESTREO DE LOS DOS QUEMADORES CON RECUPERADOR

Inercia Térmica del Proceso			Inercia Térmica del Proceso	
Tiempo (min)	Temperatura Quemador 1 (°C)		Tiempo (min)	Temperatura Quemador 2 (°C)
115	301		115	312
120	310		120	318
125	306		125	313
130	301		130	308
135	297		135	302
140	293		140	299
145	290		145	296
150	288		150	293
155	285		155	291
160	283		160	289
165	280		165	286
170	277		170	282
175	275		175	279
180	272		180	276
185	269		185	274
190	267		190	271
195	264		195	268
200	261		200	266
205	259		205	264
210	256		210	262
215	253		215	259
220	250		220	257
225	248		225	255
230	246		230	253
235	243		235	252
240	241		240	251
245	239		245	250
250	237		250	248
255	235		255	247
260	234		260	245
265	232		265	244
270	231		270	242
275	230		275	241
280	229		280	240
285	228		285	239
290	227		290	238
295	226		295	237
300	225		300	236

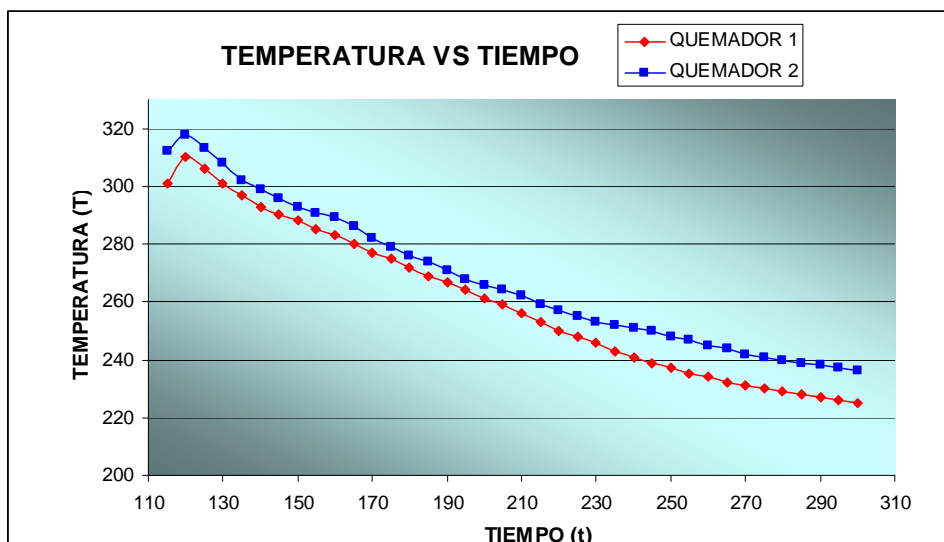


Figura 7.4: Períodos de Muestreo de los dos Quemadores con Recuperador.

De las pruebas realizadas se puede observar que se llega a la temperatura seteada de una manera más rápida con la implementación del Recuperador, y que el descenso de temperatura es menos brusco que el sistema sin recuperador, pero debido a que el flujo de polipropileno es constante e ingresa a temperatura ambiente arrastrando consigo el calor acumulado, provoca un descenso de temperatura de hasta los 225°C transcurrido 185 minutos, sin opción de recuperar calor, obteniendo un material sin la consistencia deseada en cuya composición se observa polipropileno granulado que no han llegado al punto de fluidez.

Al interpretar las curvas y comparar entre ellas se puede tener una idea clara que el uso de recuperadores, contribuye al ahorro de energía, en especial en la puesta en marcha de este tipo de hornos, pero se deduce que con un sistema a gas la manipulación de la temperatura es bastante dificultosa, y mas aún mantenerla casi constante.

7.3 ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y PROPUESTA

De la experiencia obtenida mediante pruebas se ha demostrado que en la zona de alimentación del tornillo (parte inicial de la extrusora) se experimenta caídas

bruscas de temperatura debido a que el material ingresa a una temperatura promedio de 16°C y la circulación de agua fría a la altura de la boca de la tolva, misma que es indispensable para evitar el calentamiento desde el cañón de la extrusora hacia el motorreductor del sistema. En tal virtud debido a las condiciones de diseño de la máquina no se mostró factible reemplazar la potencia dada de nueve resistencias eléctricas por una equivalente mediante la combustión del GLP por razones antes mencionadas como el control de la inercia térmica presente en el sistema.

Una alternativa para procurar un ahorro energético a partir de la experiencia obtenida sería incluir al proceso una fase de precalentamiento, se estaría considerando ingresar el polipropileno al proceso mismo de extrusión a una temperatura superior de 100 °C, lo que conlleva a disminución en el tiempo de encendido de las resistencias eléctricas, disminución en los ciclos de encendido y apagado de los instrumentos de control y por ende incremento de la vida útil de los mismos.

7.3.1 Análisis de Propuesta

A partir de las curvas obtenidas y realizando una proyección de la variación de temperatura con respecto al tiempo se considera que dicha temperatura en el tubo (cañón) decrece aproximadamente hasta los 180 °C, como lo muestra el grafico inferior:

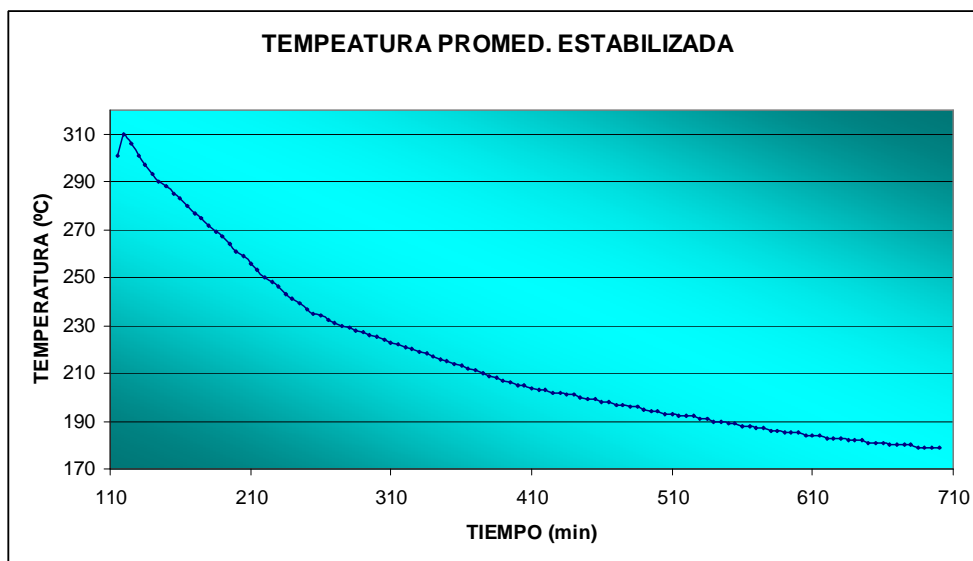


Figura 7.5: Curva de Decrecimiento de Temperatura con Respecto al Tiempo.

Sabiendo la temperatura tomada en el termopozo y mediante un pirómetro óptico la temperatura que alcanza el material, se presenta los siguientes valores:

TEMPERATURA TERMOPOZO (°C)	TEMPERATURA MATERIAL (°C)
310	220
280	195
180	X

Interpolando estos valores podemos determinar la temperatura del material cuando se ha estabilizado a 180 °C la temperatura del tubo de la extrusora.

$$\frac{310-180}{310-280} = \frac{220-X}{220-195}$$

$$-X = \frac{130 \times 25}{30} - 220 \quad X = 111.66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Utilizando el sistema a gas diseñado inicialmente para realizar un precalentamiento del polipropileno el material estaría ingresando al proceso a una temperatura de aproximadamente 112 °C. De acuerdo a la propuesta hecha se debería **incrementar la longitud del tubo o cañón** para conseguir este precalentamiento y posteriormente el calentamiento del material a la temperatura óptima para el proceso.

De la longitud original, el sistema diseñado reemplazó a 9 resistencias equivalentes a 16.2 KW con una temperatura de ingreso de material de 16 °C, considerando ahora que la temperatura de ingreso al proceso mismo es de 112 °C la potencia requerida para esta zona sería:

$$Q_{util} = \frac{m \times c_p \times (T_f - T_o)}{t}$$

Donde:

$$\begin{aligned} m &= 120 \text{ Kg.} \\ C_p &= 1.9 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C} = 0.4538 \text{ Cal/gr. } ^\circ\text{C.} \\ T_f &= 220 ^\circ\text{C} \\ T_o &= 112 ^\circ\text{C} \\ t &= 1 \text{ h} \end{aligned}$$

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$\begin{aligned} Q_{util} &= \frac{120 \text{ Kg} \times 0.4538 \frac{\text{Cal}}{\text{gr.}^\circ\text{C}} \times (220 - 112)^\circ\text{C}}{1 \text{ h}} \\ Q_{util} &= 5881.25 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 6.84 \text{ KW.} \end{aligned}$$

La potencia total requerida es igual al calor útil por un factor de servicio inicialmente expuesto

$$\begin{aligned} Q_{requerido} &= Q_{util} \times F_s \\ Q_{requerido} &= 6.84 \text{ KW} \times 1.3 = 8.89 \text{ KW} \end{aligned}$$

Según esta potencia obtenida para llegar a la temperatura optima en el material se requiere de 5 resistencias de 1.8 KW en la zona donde inicialmente se ubicó el sistema a gas, según la grafica indicada.

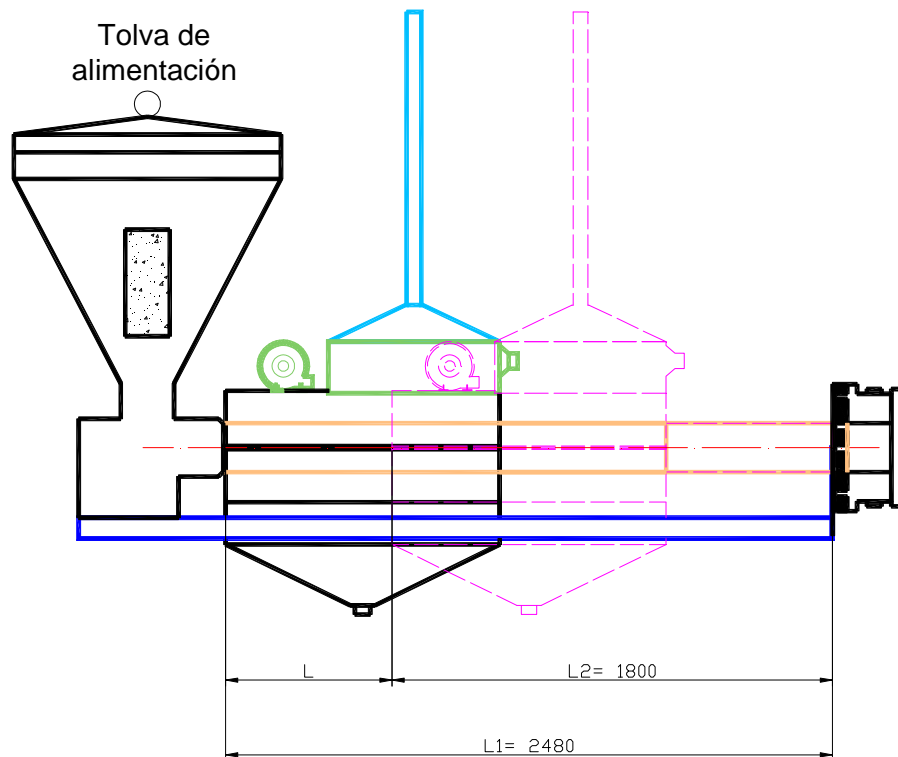


Figura 7.6: Diagrama de Cambio de Ubicación de la Propuesta, con Respecto a la Primera Alternativa.

Es decir el número total de resistencias en el sistema planteado con un incremento de la longitud de tubería sería las 5 resistencias determinadas más 5 resistencias de la zona de dosificación, teniendo como dato que la longitud de las resistencias cilíndricas es de 12 cm. la longitud de tubería que requiere la aplicación de energía eléctrica será de **136 cm.**, las dimensiones de la cámara de combustión se mantienen pues mediante esta se precalentará el material a las condiciones antes planteadas y tiene una longitud de **112 cm.** De esta forma tenemos una longitud total de **248 cm.**

De acuerdo a la gráfica planteada la longitud de tubería L a adicionar es:

$$L = L_1 - L_2$$

Donde:

L = Longitud del tubo adicional de la extrusora

L_1 = Longitud total planteada del tubo de la extrusora

$L_2 =$ Longitud total actual del tubo de la extrusora

$$L = (2480 - 1800) \text{ mm}$$

$$L = 680 \text{ mm}$$

7.3.2 Factibilidad del Sistema Planteado.

El diseño original del sistema de calentamiento comprende de 14 resistencias cilíndricas que proporcionan calor al tubo o cañón de la extrusora, al considerar el sistema planteado de ingresar el material a una temperatura superior a 100 °C se estaría trabajando con 10 resistencias. Ahora se procede a determinar la factibilidad de reemplazar 4 resistencias eléctricas e implementar una zona de precalentamiento del material en el proceso de extrusión:

Consumo de resistencias eléctricas:

Datos técnicos de las resistencias:

$$\text{Voltaje} = 220 \text{ V}$$

$$\text{Potencia} = 1.8 \text{ KW}$$

$$\# \text{ Resist} = 4$$

Cálculos:

$$Pot_{(total)} = Pot \times \# resist$$

$$Pot_{(total)} = 1.8 \text{ KW} \times 4 = \underline{7.2 \text{ KW}}$$

Consumo de energía [KW-h]

$$\text{Consumo} = (Pot_{(total)} \times tiempo)$$

CONSUMO DE ENERGIA (KW-h)		
CONSUMO / HORA	CONSUMO / 12 HORAS	CONSUMO / SEMANAL (DEM HORARIA)
7,20	86,40	432,00

Cargos Tarifarios [USD]

$$CT = Consumo \times Costo \text{ de Energía}$$

Demanda Horaria:

DH 1	07h00-22h00	0.072 USD/KW-h
DH 2	22h00-07h00	0.058 USD/KW-h (ANEXO G)

	CT / HORA	CT / 12 HORAS	CT / SEMANA
DH 1	0,52	6,22	31,10
DH 2	0,42	5,01	25,06

$$Tarifa \text{ Semanal} = DH1 + DH2$$

$$\begin{aligned} Tarifa \text{ Semanal} &= (31.1 + 25.06) \text{ USD} \\ &= 56.16 \text{ USD} \end{aligned}$$

En el capítulo 6 se determinó que 34 semanas en el año son de producción, debido a feriados y principalmente por razones de mantenimiento, Mediante estos datos se determina la tarifa de consumo anual de debido a las 4 resistencias mencionadas:

La tarifa anual de energía eléctrica es:

$$\begin{aligned} Tarifa \text{ Anual} &= (34 \times 56.16) \text{ USD} \\ &= 1909.44 \text{ USD} \end{aligned}$$

Consumo Sistema GLP:

Al realizar un precalentamiento del polipropileno antes de ingresar al proceso de extrusión es posible prescindir de 4 resistencias eléctricas del número total de resistencias del diseño original, pero la utilización de GLP también implica gastos los cuales fueron analizados anteriormente en el capítulo 6, los valores se exponen a continuación:

Experimental y teóricamente se ha determinado que el sistema consume un promedio de 1.23 kilogramos de combustible en una hora y sabiendo que el costo aproximado es de 0.133 USD por kilogramo, presentamos los siguientes costos:

POR HORA	DIA	SEMANA
0,16	3,93	19,63

$$\text{Gasto Semanal} = 19.63 \text{ USD}$$

$$\begin{aligned} \text{Tarifa Anual} &= (34 \times 19.63) \text{ USD} \\ &= 667.42 \text{ USD} \end{aligned}$$

Costos entre el Sistema Eléctrico y el Sistema a Gas.

El análisis de costos entre ambos sistemas se lo realiza en forma anual tomando en consideración que la producción permanece constante de lunes a viernes durante las 24 horas.

$$\text{Tarifa Electrica Anual} = 1909.44 \text{ USD}$$

$$\text{Tarifa de Gas Anual} = 667.42 \text{ USD}$$

$$\text{Ahorro Anual} = \text{Tarifa Eléctrica} - \text{Tarifa Gas}$$

$$\text{Ahorro Anual} = (1909.44 - 667.42) \text{ USD} = 1242 \text{ USD}$$

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES.

- El Polipropileno por su comportamiento visco elástico ante los ensayos de tracción, compresión, flexión y torsión resulta un material que brinda seguridad y versatilidad para aplicaciones como en la industria alimenticia o de la construcción.
- La velocidad de calentamiento la cual es fundamental para el ahorro de energía en la puesta en marcha de la máquina, es bastante diferenciada en relación a las resistencias eléctricas, ya que con el recuperador, el sistema a gas llega a la temperatura deseada de los 310°C en un tiempo de 115 minutos, mientras que con las resistencias eléctricas se tarda dos horas y media (150 minutos) aproximadamente.
- El aire de combustión precalentado proveniente del Recuperador permite disminuir el tiempo de Calentamiento, lo que implicaría un ahorro de combustible en la puesta en marcha.
- El sistema llega a la temperatura seteada, pero desciende en el momento que el polipropileno pasa a través del tornillo sinfín, provocando un descenso de temperatura de hasta los 225 ° C en 185 minutos. Y la opción de recuperar la temperatura es irreversible es estas condiciones.
- La Seguridad Industrial es considerada como fundamental en el sistema puesto que estamos tratando con la formación de posibles atmósferas explosivas, por tal virtud se vio necesaria la implementación un cerebro o LGA el mismo que estará controlando el cierre y apertura de las electoválvulas una vez que se presentan las condiciones adecuadas,

además del sistema a gas se encuentran dentro de las normas ASME B 31.9, los materiales y procedimiento de acople de cañerías PRESS FIT están sujetos a la norma mencionada.

- Si bien es cierto que la relación económica entre un Sistema Eléctrico y uno a Gas es de 6 a 1. El Sistema por medio de Resistencias Eléctricas tiene un Control de Temperatura casi exacto, lo cual representa una ventaja con respecto al gas.
- En el diseño original del calentamiento del cañón de la extrusora mediante resistencias eléctricas, no resulta factible reemplazar determinado número de resistencias por un sistema a gas debido al control de la inercia térmica e incluso si se quisiera disminuir el descenso brusco de temperatura reduciendo las revoluciones o la velocidad de paso del material a través de la cámara implicaría reducir la capacidad de producción de la maquina resultado desfavorable para el proceso. Pero si incluimos al proceso una fase de precalentamiento mediante la combustión del GLP, incrementando la longitud del cañón de la extrusora se estaría aportando al proceso un material con una temperatura superior a 100°C que permite un ahorro de energía eléctrica manteniendo una contextura optima del material.

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda una inspección continua de los equipos para verificar el correcto funcionamiento del sistema, ya que las señales de alerta son luminosas y no sonoras.
- Se recomienda que la cámara de combustión esté lo suficientemente aislada, para evitar pérdidas de calor.
- Se recomienda que el tiempo de precalentamiento previo a la puesta en marcha de la producción, sea de mínimo 135 min. Dato obtenido de las pruebas realizadas.
- En caso de ausencia de flama, se debe utilizar la válvula de cierre rápido, ubicado en el extremo derecho del Tablero de Distribución de Gas para impedir que se forme un ambiente explosivo.
- Si se produce un Shut Down, se aconseja esperar un tiempo mínimo de 2 a 3 minutos con la finalidad de que se desmagnetice la bobina del LGA. y permita un normal arranque del Sistema.
- Se debe mantener una suma precaución en el instante de mover la bancada de la extrusora hacia la calandria puesto que las mangueras flexibles para la distribución de gas pueden estar expuestas a aplastamiento.
- Si la longitud del cañón no es modificada se recomienda trabajar tan solo con resistencias eléctricas, ya que se pudo comprobar experimentalmente que con un sistema a gas se puede llegar a la temperatura de precalentamiento en un tiempo óptimo, pero al caer la temperatura, es irreversible el descenso de la misma y pierde fluidez el polipropileno en el transcurso del proceso de fabricación de planchas.

REFERENCIAS

- [1] Trinks W. Mawhinney M. Hornos Industriales. Volumen 1, URMO s.a. de Ediciones, Impreso en España 1975. pp15-27
- [2] Trinks W. Mawhinney M. Hornos Industriales. Volumen 1, URMO s.a. de Ediciones, Impreso en España 1975. pp 124
- [3] Trinks W. Mawhinney M. Hornos Industriales. Volumen 1, URMO s.a. de Ediciones, Impreso en España 1975. pp 219-227
- [4] www.intelnet.com.mx/prefinsa/refractario.html
- [5] Morton - Jones, Procesamientos de Plásticos, Editorial LIMUSA, Impreso en México 2004, pp 77-82
- [6] Morton - Jones, Procesamientos de Plásticos, Editorial LIMUSA, Impreso en México 2004, pp 95-99
- [7] Trinks W. Mawhinney M. Hornos Industriales. Volumen 1, URMO s.a. de Ediciones, Impreso en España 1975. pp 450
- [8] ZABALA, Gilberto, TABLA 5.1
- [9] HOLMAN J. P. Transferencia de Calor, Octava Edición. Impreso en España, 1998, pag 386-387
- [10] HOLMAN J. P. Transferencia de Calor, Octava Edición. Impreso en España, 1998 pag 206-213
- [11] DEL ARCO Luís, Termotecnia. Cuarta Edición. Ediciones Ariel, Barcelona-España. Pp 161-163
- [12] DEL ARCO Luís, Termotecnia. Cuarta Edición. Ediciones Ariel, Barcelona-España. Pp 257 -263
- [13] Trinks W. Mawhinney M. Hornos Industriales. Volumen 1, URMO s.a. de Ediciones, Impreso en España 1975. Tabla 22 pp. 404
- [14] DeGARMO Paúl, SULLIVAN William. Ingeniería Económica. Décima Edición, Impreso en México 1998, pp 25 – 27.

BIBLIOGRAFIA

Trinks W. Mawhinney M. Hornos Industriales. Volumen 1, URMO s.a. de Ediciones, Impreso en España 1975.

Trinks W. Mawhinney M. Hornos Industriales. Volumen 2, URMO s.a. de Ediciones, Impreso en España 1980.

Morton - Jones, Procesamientos de Plásticos, Editorial LIMUSA, Impreso en México 2004

HOLMAN J. P. Transferencia de Calor, Octava Edición. Impreso en España, 1998

DEL ARCO Luís, Termotecnia. Cuarta Edición. Ediciones Ariel, Barcelona-España.

DeGARMO Paúl, SULLIVAN William. Ingeniería Económica. Décima Edición, Impreso en México 1998.

VALENZUELA, Ramiro. Apuntes de Transferencia de Calor, Riobamba-Ecuador, 2003.